



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales  
y Servicios del Ambiente (PIENSA)



**Implementación de un sistema de gestión integral de las aguas  
residuales en la granja porcina Santa Adelaida, Estelí, 2018**

Tesis para optar a título de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

Tesista:

**Ing. Edgar Alejandro Paniagua Díaz**

Tutor:

**M.Sc. Ing. Sergio Rafael Gámez Guerrero**

Managua, noviembre de 2018





PROGRAMA DE INVESTIGACION ESTUDIOS NACIONALES Y SERVICIOS  
AMBIENTALES  
(PIENSA - UNI)



Managua 07 de marzo del 2017

**Msc. Ing. Sergio Gámez Guerrero**

**Docente catedrático.**

**UNI - PIENSA.**

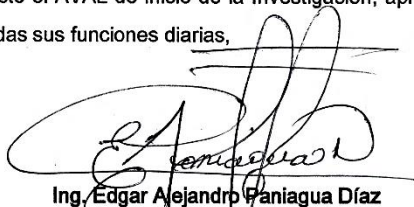
**Su despacho.**

Estimado Msc. Guerrero, reciba un fraterno saludo de mi parte.

Por este medio le remito como documento adjunto a esta carta una copia en físico y una copia en digital del protocolo de investigación para optar al título profesional de Maestro en Ingeniería Ambiental denominado **"Rediseño del STAR de la granja porcina Santa Adelaida, para mejorar su eficiencia en el cumplimiento de los límites máximos permisibles, establecidos en las normativas ambientales"**, en este protocolo ya están incorporadas las recomendaciones realizadas por el Comité Técnico Científico a la hora de la defensa de dicho protocolo.

Esperando que se dicte el AVAL de inicio de la Investigación, aprovecho la ocasión para desearle éxitos en todas sus funciones diarias,

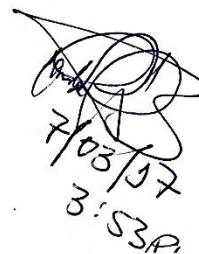
Atentamente,



Ing. Edgar Alejandro Paniagua Díaz

**Maestrante ciclo académico 2010 - 2012**

Cc. Archivo Personal.



7/03/17  
3:53P.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales  
y Servicios del Ambiente (PIENSA-UNI)



Managua, 29 de marzo, 2017  
CMCA-028a-17

**Ing. Edgar Alejandro Paniagua Díaz**  
**Maestría en Ing. Ambiental**  
**Ciclo 2010-2011**

Estimado Ingeniero:

Reciba cordial saludo.

Por este medio le comunico oficialmente la **aprobación** de su protocolo de tesis, para el cual, el Comité Académico del PIENSA recomienda el título:

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL  
DE LA GRANJA PORCINA SANTA ADELAIDA, ESTELI**

Su protocolo de tesis, así como la tutoría del MSc. Sergio Rafael Gámez Guerrero y la asesoría del MSc. Henry Javier Vilchez Pérez, fueron unánimemente aprobados mediante **acuerdos N° 4 y 5**, respectivamente, en la sesión ordinaria **No. 03-2017** del Comité Académico del PIENSA, realizada en la sala de maestría N° 1, el martes 21 de marzo del año en curso.

No me queda más que desearle éxito en el desarrollo de su investigación y en la redacción de su informe final, para que pueda presentarlo conforme lo planificado para su evaluación y defensa en septiembre de este año. Atte.

  
MSc. Ing. Luz Violeta Molina  
Coordinadora MCA  


cc. MSc. Ing. Larisa Korsak, Directora PIENSA.  
MSc. Lic. Elda H. Escobar, Secretaria Académica PIENSA.





Managua, 11 de septiembre del 2018

**M.Sc. Luz Violeta Molina.**

**Coordinadora MCA.**

**UNI – PIENSA.**

**Sus Manos.**

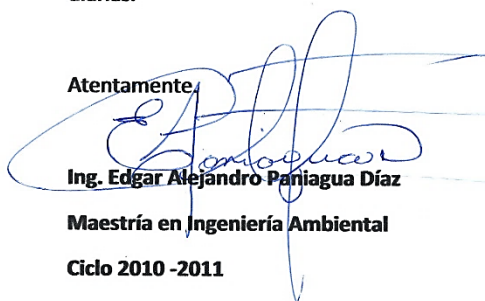
Estimada M.Sc. Molina.

Reciba cordiales saludos.

Por este medio le remito tres originales del documento aprobado por mi tutor **M. Sc Sergio Gámez Guerrero** de la investigación denominada: **Rediseño del STAR de la granja porcina Santa Adelaida para mejorar su eficiencia en el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en las normativas ambientales nacionales**, tesis sometida a la consideración del PIENSA para optar al título de Maestro en ingeniería ambiental, de una vez solicito la conformación del jurado para defensa de la Tesis.

Sin más sobre el particular, aprovecho la oportunidad para desearle éxitos en sus funciones diarias.

Atentamente,



**Ing. Edgar Alejandro Paniagua Díaz**

**Maestría en Ingeniería Ambiental**

**Ciclo 2010 -2011**



Managua, 21 de noviembre 2018.

Señores: Comité Académico

PIENSA – UNI

Sus manos.

Reciban fraternos saludos,

Sirva la presente para solicitar la aprobación de cambio de Título, objetivo general y los tres primeros objetivos específicos de tesis de investigación sometida a consideración del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales - PIENSA, para optar al título de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental, estas recomendaciones fueron sugeridas por el tribunal examinador de mi investigación, a continuación, detallo los cambios sugeridos:

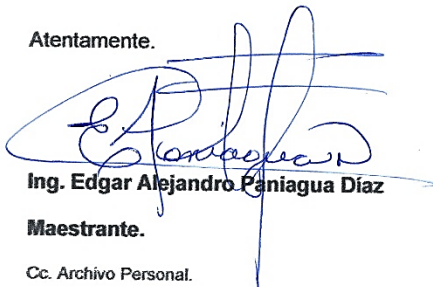
Recomendación sugerida por el tribunal examinador	Presentado al tribunal examinador	Recomendado por el tribunal examinador
<b>Cambio de Título</b>	Rediseño del STAR de la granja porcina Santa Adelaida para mejorar su eficiencia en el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en las normativas ambientales nacionales.	Implementación de un sistema de gestión integral de las aguas residuales de la granja porcina Santa Adelaida, Esteli 2018.
<b>Cambio de objetivo General</b>	Rediseñar el STAR de la granja porcina Santa Adelaida para mejorar su eficiencia en el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en las normativas ambientales.	Diseño e implementación de una propuesta integral para reducir la contaminación en la granja porcina Santa Adelaida.
<b>Cambio de objetivo específico No.1</b>	Diagnosticar la situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) proveniente de la granja porcina Santa Adelaida.	Evaluar la situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) proveniente de la granja porcina Santa Adelaida.
<b>Cambio de objetivo específico No.2</b>	Realizar propuesta de mejoramiento del sistema de tratamiento existente en función de cumplir con los parámetros establecidos por el decreto 21 - 2017.	Diseñar y construir un nuevo STAR tomando en cuenta los criterios de diseños recomendados en las normas y manuales ambientales vigentes en el país.



Recomendación sugerida por el tribunal examinador	Presentado al tribunal examinador	Recomendado por el tribunal examinador
Cambio de objetivo específico No.3	Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en las diferentes unidades de tratamiento propuestas y en general del STAR.	Puesta en marcha y validación del nuevo STAR construido, en función de cumplimiento con los parámetros establecidos por el decreto 21 – 2017.

Sin más sobre el particular, aprovecho la oportunidad para desearles éxitos en sus funciones diarias,

Atentamente.



Ing. Edgar Alejandro Paniagua Díaz

Maestrante.

Cc. Archivo Personal.



Managua, 15 de noviembre, 2018  
CMAP-058-18

M.Sc. Ing. Larisa Korsak, Presidente  
M.Sc. Ing. Miguel Blanco Ch., Secretario  
M.Sc. Ing. Ernesto Acevedo L., Vocal  
Tribunal Examinador de Tesis de  
Maestría en Ciencias en Ing. Ambiental

Estimados Miembros del Tribunal Examinador:

Les saludo cordialmente y les convoco a presidir el acto de defensa pública de la tesis:

**Implementación de un sistema de gestión integral para el manejo de aguas residuales de la granja porcina Santa Adelaida, Estelí, 2018**

Esta es presentada por el Ingeniero Edgar Alejandro Paniagua Díaz, maestrando del XIII ciclo (2010-2011), para optar al título de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental, bajo la tutoría del M.Sc. Ing. Sergio Rafael Gámez Guerrero.

Este acto de defensa de tesis, para el cual su presencia es indispensable, se realizará en la siguiente fecha, horario y local:



**Viernes 30 de noviembre, de 2:00 a 4:30 pm**

**Sala de Maestría N°1 del PIENSA**

El formato para calificación del trabajo de tesis les será entregado el día de la defensa, para completarlo y entregarlo al Secretario del Jurado, quien es el responsable de anexarlo al acta de defensa de tesis correspondiente. Atte.

  
M.Sc. Luz Violeta Molina G.  
Coord. Maestrías Ambientales PIENSA

cc. M.Sc. Ing. Larisa Korsak, Directora PIENSA  
M.Sc. Lic. Elda Escobar, Secretaria Académica Maestrías-PIENSA  
M.Sc. Ing. Sergio Gámez G., Tutor de tesis  
Ing. Edgard Paniagua, Tesista  
Archivo MIA-PIENSA.

## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a **Dios nuestro padre**, fuente principal de la vida, de la sabiduría y la fortaleza para enfrentar los desafíos de cada día.

A mi madre **Martha Lorena Díaz** y mi abuela **Rosaura Díaz Marín**, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanas, **Emma Patricia** y **Martha Yesenia**, a quienes amo y han sido siempre no solo mis hermanas, sino también mis amigas.

A mi tía **Emma Lilliam Díaz** q.p.d, aunque no esté físicamente conmigo, pero sé que desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien.

A mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

## AGRADECIMIENTO

A las **Autoridades Superiores de la Universidad Nacional de Ingeniería - UNI** y a la **Dirección del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente - PIENSA**, por su apoyo incondicional y decidido a la investigación como proceso fundamental en el quehacer universitario.

A las **Autoridades Superiores de la Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco - UCATSE**, por facilitar la granja porcina Santa Adelaida y brindar su total respaldo a través de su acompañamiento en la gestión y obtención de las condiciones necesarias para el estudio.

A **Sistema Biobolsa de Nicaragua**, por su enorme disposición en compartir toda la información requerida y transmitir toda la experiencia en instalación y manejo de reactores anaerobios.

A mis docentes de la Maestría en Ingeniería Ambiental, en especial a mi tutor el **M.Sc. Sergio Gámez**, por su tiempo y por compartir sus amplios conocimientos y experiencias.

A **M.Sc. Mario Castellón Zelaya, M.Sc. Henry Javier Vélchez y M.Sc. Allan Francisco Silva**, por su indispensable apoyo, su dedicación y empeño desde el inicio de la investigación, compartiéndome todas sus experiencias y conocimientos para que esta investigación fuera un éxito.

Al operador de la granja Santa Adelaida **Sr. Rommel Zelaya** y a mi equipo de colaboradores **Sr. Jairo Miranda y Sr. Roger Flores**, que desde un inicio asumieron este reto de la misma forma que yo, hasta ver concluida la investigación.

A todas las personas que de muchas maneras dieron su aporte para que el anhelo de cursar la maestría y de realizar esta investigación fuera una realidad.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La industria porcina en Nicaragua presenta importantes problemas ambientales sobre todo por la contaminación de suelos y aguas por la descarga de aguas residuales. Esta realidad hace palpable la necesidad de realizar estudios y propuestas de sistemas de tratamiento que puedan resultar como alternativas viables para evitar los problemas antes mencionados.

El objetivo del presente estudio fue el rediseño, mejoramiento, operación, puesta en marcha y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la granja porcícola Santa Adelaida de la Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco (UCATSE) en Estelí, a fin de determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en los diferentes procesos de tratamiento que la conforman y si se cumple con la normativa de vertido al ambiente vigente en el país.

El estudio inició con el levantamiento de información concerniente a la producción de aguas residuales y de excretas considerando las etapas del ciclo productivo llevadas a cabo en la granja. Con una población de 52 animales en las etapas de reproducción, cría y finalización se determinó una producción de excretas de 98.32 kg/día y un consumo de agua de lavado de 1578 L/día.

Posteriormente se procedió al levantamiento físico del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) existente con base en el cual se procedió a revisar el dimensionamiento de cada unidad para verificar su capacidad hidráulica. El sistema existente constaba de canal de recolección con rejillas, seguido de una fosa séptica y finalmente un humedal artificial (Biofiltro). Adicionalmente se contaba con un reactor anaerobio (biogás) que nunca fue utilizado.

De la evaluación física e hidráulica se concluyó que ninguna de las unidades existentes cumplía con los parámetros de diseño recomendados por las normas de diseño aplicadas en el país y por tanto se procedió a realizar una propuesta de diseño de un nuevo STAR con base en la caracterización físico química de las aguas residuales generadas en la granja. El nuevo sistema construido consta de las siguientes unidades: Canal con rejilla - Reactor anaerobio - Filtro anaerobio de flujo ascendente - Biofiltro.

La caracterización del agua cruda mostró que la relación de DBO/DQO oscila entre 0.13 y 0.32 con un valor promedio de 0.23. El pH es de 6.5. El agua residual presenta concentraciones de DBO que variaron entre 8 000 y 28 800 mg/L lo cual se corresponde a una granja tecnificada donde los volúmenes de agua de lavado son pequeños.

El canal construido es de tubo PVC a media caña con una base de concreto y sobre el canal una rejilla metálica. Con base en la capacidad requerida calculada para el reactor anaerobio, se propuso la instalación de un biodigestor pre fabricado de 10 m<sup>3</sup> (BB -10) distribuido por la empresa SISTEMA BIOBOLSA, cuyo volumen da como resultado un tiempo de retención hidráulica de 25 días. Para el FAFA se propuso la instalación de uno pre fabricado marca Plastitank con una capacidad efectiva de 1100 L, con un TRH resultando de 2.7 días. Finalmente, el Biofiltro se calculó con un TRH de 3.2 días resultando en un área superficial de 7.68 m<sup>2</sup>. Como especie acuática para el humedal se sembró la planta conocida como Tule (*Typha domingensis*) perteneciente a la familia *Typhaceae*,

Se procedió a la operación y evaluación del nuevo STAR para lo cual se realizaron análisis de laboratorio para determinar la calidad del efluente generado y constatar el cumplimiento del Decreto 21 – 2017 **Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales**, que en su **artículo 64** establece los **rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de aguas residuales provenientes de las granjas porcinas y caprinas**. Adicionalmente se monitoreó la producción de biogás en el reactor anaerobio a fin de determinar su posible aprovechamiento energético, además se determinó la calidad agronómica del agua tratada para evaluar su reúso como agua de riego como también la calidad del biol.

Al cabo de dos meses de operación, después de considerado estable el sistema, los análisis de laboratorio permitieron determinar que el STAR propuesto produce un efluente que cumple con la mayoría de los parámetros establecidos en el decreto 21 – 2017. La eficiencia general en la remoción de DQO y DBO fue de 98.78 % y 98.25%, respectivamente. 99.83% de remoción de sólidos suspendidos totales y del 72.37% en remoción de grasas y aceites.



Los parámetros para los cuales los límites máximos permisibles estuvieron excedidos fueron sólidos sedimentables y nitrógeno total con 1.70 mL/L y 87.98 mg/L, respectivamente. Para estos parámetros el decreto establece valores máximos de 1.0 mL/L y 50 mg/L.

Se evaluó la calidad del agua tratada para su uso como agua de riego con la norma Riverside, la cual se basa en la Relación de adsorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica. Así mismo se realizó una clasificación del agua tratada con base a la NTON 05 027-05. Los resultados indican una clasificación del agua C<sub>4</sub>S<sub>1</sub>, lo cual indica un agua que puede ser usada para riego. Con base en la DBO, la tasa de adsorción de sodio y conductividad eléctrica, el efluente del STAR objeto de estudio se puede clasificar como Categoría C de acuerdo a la NTON 05 027-05.

En cuanto al biogás generado en el biodigestor se registró una producción diaria promedio de 0.29 m<sup>3</sup>/kgSV con un contenido promedio de metano del 66.24%. El potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás generado en el STAR sería de 21.97 kW-hr por día.

En el efluente del reactor anaeróbico, se realizaron tres muestreos obteniéndose un promedio de: Nitrógeno total con 686.07 mg/L, Potasio en 257 mg/L y Fósforo con un 73.41 mg/L. El contenido de nutrientes (N, P, K) obtenido del efluente fue relativamente bajo, lo que posiblemente obedeció a la cantidad de sólidos sedimentables en la excreta en el momento de alimentarse el reactor anaerobio. Para lograr mayor eficiencia en el proceso de biodigestión y tener un abono más rico en nutrientes, es necesario que la excreta líquida contenga mínimo 38% de sólidos totales, que en comparación al estudio solamente alcanzó un 28.55 %.

# ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	5
III. MARCO TEORICO .....	6
3.1 Tipos de granjas porcinas.....	6
3.2 Generación de aguas residuales .....	7
3.2.1 Agua de lavado y producción de excretas .....	7
3.2.2 Características de las aguas residuales .....	9
3.3 Impacto ambiental de las granjas porcinas .....	10
3.4 Tratamiento de aguas residuales en granjas porcícolas .....	11
3.4.1 Remoción de sólidos.....	12
3.4.2 Remoción biológica de materia orgánica .....	13
3.4.3 Tecnologías de tratamiento de aguas residuales porcinas .....	16
3.5 Características de las aguas residuales procedente de granjas porcinas .....	22
3.5.1 Características físicas de las aguas residuales .....	22
3.5.2 Características químicas de las aguas residuales .....	23
3.6 Disposiciones sobre el vertido de descargas de agua residuales.....	25
3.7 Aprovechamiento de los residuos en granjas porcinas .....	27
3.7.1 Residuos sólidos .....	27
3.7.2 Aguas residuales .....	28
IV. METODOLOGÍA.....	29
4.1 Tipo de investigación.....	29
4.2 Ubicación del área de estudio .....	29
4.3 Situación de la granja sin intervención .....	29
4.3.1 Población animal .....	29
4.3.2 Producción de excretas .....	29
4.3.3 Caudal de lavado .....	30
4.3.4 Relación excreta/agua.....	30
4.3.5 Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	30
4.4 Propuesta de mejoramiento del STAR.....	32
4.4.1 Muestreo y caracterización de aguas residuales .....	32
4.4.2 Recolección de aguas residuales.....	33
4.4.3 Pre tratamiento.....	34
4.4.4 Unidades de tratamiento .....	34
4.4.5 Parámetros de diseño .....	36

4.4.6	Construcción del STAR propuesto .....	38
4.4.7	Determinaciones analíticas .....	38
4.4.8	Producción y composición de biogás .....	39
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
5.1	Situación de la granja sin intervención .....	41
5.1.1	Población animal .....	41
5.1.2	Producción de excretas .....	41
5.1.3	Caudal de lavado .....	42
5.1.4	Relación excreta + orina/agua .....	43
5.1.5	Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	43
5.2	Propuesta de mejoramiento del STAR.....	50
5.2.1	Características de aguas residuales.....	50
5.2.2	Caudal de lavado .....	51
5.2.3	Recolección de aguas residuales.....	53
5.2.4	Unidades de tratamiento .....	54
5.2.5	Disposición final.....	59
5.3	Arranque del STAR .....	59
5.4	Operación y monitoreo del STAR .....	60
5.4.1	Tiempo de operación y monitoreo.....	60
5.4.2	Caudal de aguas residuales .....	60
5.4.3	Calidad de agua cruda.....	60
5.4.4	Carga orgánica.....	61
5.4.5	Carga orgánica per cápita .....	61
5.4.6	Remoción de contaminantes.....	62
5.4.7	Aprovechamiento de sub productos del STAR .....	66
VI.	CONCLUSIONES.....	70
VII.	RECOMENDACIONES .....	71
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	72
IX.	ANEXOS.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1.- Consumo de agua en granjas porcinas .....	8
Tabla 2.- Producción diaria de excretas según el tipo de cerdo .....	8
Tabla 3.- Producción de heces y orina por tipo de porcino .....	9
Tabla 4.- Características de aguas residuales en granjas porcinas .....	9
Tabla 5.- Características del agua residual por unidades de granjas .....	10
Tabla 6.- Unidades típicas de remoción de sólidos .....	12
Tabla 7.- Composición del biogás producido por la descomposición anaeróbica.....	18
Tabla 8.- Consumo de biogás por gasodomésticos de granjas porcinas.....	19
Tabla 9.- Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de aguas residuales provenientes de las granjas porcinas y caprinas .....	26
Tabla 10.- Criterios según categoría de riesgos.....	27
Tabla 11.- Coeficiente de rugosidad “n” de Manning.....	33
Tabla 12.- Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial .....	38
Tabla 13.- Métodos para determinaciones analíticas.....	39
Tabla 14.- Población animal en la granja porcina Santa Adelaida.....	41
Tabla 15.- Estimación de la producción de excretas + orina.....	42
Tabla 16.- Consumo de agua en lavado.....	42
Tabla 17. - Calculo hidráulico de la fosa séptica de doble cámara existente .....	45
Tabla 18. – Calidad estimada del efluente de la fosa séptica de doble cámara existente ....	46
Tabla 19. – Calidad estimada del efluente del humedal existente.....	48
Tabla 20. – Calculo hidráulico de humedal superficial necesario.....	49
Tabla 21. – Características de aguas residuales crudas granja Santa Adelaida.....	51
Tabla 22. – Consumo de agua, generación de excreta y relación estiércol: agua .....	51
Tabla 23. – Dimensiones de reactor anaerobio construido.....	54
Tabla 24. – Calidad estimada del efluente del reactor anaerobio .....	55
Tabla 25. – Calidad estimada del efluente del FAFA.....	56
Tabla 26. – Calidad estimada del efluente del STAR.....	57
Tabla 27. – Dimensionamiento de humedal superficial .....	58
Tabla 28. – Caracterización de las aguas residuales de la granja Santa Adelaida.....	60
Tabla 29. – Carga orgánica por unidad de tratamiento.....	62
Tabla 30. – Eficiencia en la remoción de carga orgánica por unidad de tratamiento.....	62
Tabla 31. – Remoción de DQO y DBO por unidad de tratamiento y del STAR .....	63
Tabla 32. – Cumplimiento del Decreto 21 - 2017 .....	65
Tabla 33. – Eficiencia de remoción por unidad de tratamiento y del STAR.....	65
Tabla 34. – Clasificación del agua para riego según normativa Riverside.....	66
Tabla 35. – Registro de producción de biogás.....	68
Tabla 36. – Calidad de biol generado por el reactor anaerobio.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1.- Flujo del proceso de degradación de material orgánico a través de la digestión anaeróbica.....	14
Figura 2.- Clasificación de los humedales según carga orgánica y tipo de vegetación.....	21
Figura 3.- Tren de tratamiento encontrado .....	31
Figura 4.- Tren de tratamiento propuesto .....	35
Figura 5.- Cálculos hidráulicos de canal existente .....	44
Figura 6.- Cálculos hidráulicos de canal construido.....	53
Figura 7.- Disposición final del efluente líquido del STAR .....	59
Figura 8.- Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.(U.S. <i>Soild Salinity Laboratory</i> , 1973) .....	67
Figura 9.- Producción diaria de biogás en STAR .....	68

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Contenido	Página
Fotografía 1. – Levantamiento topográfico del STAR encontrado .....	31
Fotografía 2. – Medidor de flujo de gas utilizado .....	39
Fotografía 3. – Toma de muestra de biogás.....	40
Fotografía 4. – Medición de perímetro torácico .....	41
Fotografía 5. – Piso y canales de concreto en el interior de la granja porcina .....	43
Fotografía 6. – Fosa séptica de doble cámara en granja porcina.....	45
Fotografía 7. – Humedal artificial de la granja porcina.....	47
Fotografía 8. – Reactor anaerobio en granja porcina.....	50
Fotografía 9. – Hidrolavadora utilizada para el lavado .....	52
Fotografía 10. – Canal de recolección construido .....	53
Fotografía 11. – Instalación de reactor anaerobio .....	54
Fotografía 12. – Arranque del reactor anaerobio.....	55
Fotografía 13. – Instalación de FAFA .....	56
Fotografía 14. – Construcción de humedal artificial .....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Planos topográficos, arquitectónico y perfiles hidráulicos del STAR encontrado .....	79
Anexo 2.- Planos arquitectónicos y perfiles hidráulicos del STAR construido .....	85
Anexo 3.- Parámetros analizados para cada unidad hidráulica del tren de tratamiento construido .....	90
Anexo 4.- Resultados de análisis de laboratorio de agua residual del tren de tratamiento construido .....	91
Anexo 5.- Resultado de análisis de laboratorio de biogás generado por el reactor anaerobio construido (%CH <sub>4</sub> ) .....	106
Anexo 6.- Fotografías del proceso constructivo y toma de muestras del STAR construido .....	109
Anexo 7.- Costo de inversión del STAR construido .....	111

## I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es un país eminentemente agropecuario, donde el sector pecuario juega un papel relevante en la economía nacional, principalmente en la generación de empleo y alimentación humana. La producción de cerdos en Nicaragua descansa fundamentalmente en el subsistema de producción de patio (Flores *et al.*, 2007), primordialmente representado por pequeños y medianos productores.

La industria porcina en el mundo produjo entre 2005 y 2015, aproximadamente 1200 millones de cerdos anualmente, de los cuales en 2015 China produjo aproximadamente 750 millones, Europa 260 millones y los Estados Unidos de América (EUA) 115 millones. En Nicaragua esta industria, según datos del Banco Central de Nicaragua (BCN, 2017) muestran que en la importación de cerdo ha tenido un considerable aumento.

Según datos del Banco Central de Nicaragua (BCN, 2017) en este país la importación de cerdo ha tenido un considerable aumento ya que en el año 2016 se alcanzó una producción de más de 28 millones de libras, un crecimiento del siete por ciento frente a los 26 millones de libras del año 2015 (datos de la Cámara Nicaragüense de Porcicultores – CANIPORC). Ese volumen de producción de carne de cerdo en Nicaragua respondió al 65 por ciento de la demanda local. En Nicaragua se estima una población de más de 500 mil cerdos, de los cuales el 95% están en manos de pequeños productores, según registros del Ministerio de Economía Familiar y Comunitaria.

Esta importante industria en Nicaragua presenta problemas ambientales principalmente debido a la contaminación de las aguas y del suelo. Aunque a nivel nacional no se cuenta con estudios específicos al respecto, a nivel mundial se reconoce que los problemas más severos que provoca la porcicultura en el medio ambiente son (Pérez, 2005):

- Contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas,

- deterioro de la calidad del aire por la generación de gases, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y metano (CH<sub>4</sub>), que afectan a los trabajadores de la granja, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos,
- contaminación por metales pesados, sobre todo cobre y zinc, el cerdo sólo absorbe en un 5 y 15%, excretando el resto,
- contaminación microbiológica en la aplicación de excretas a terrenos agrícolas y pérdida de biodiversidad por erosión.

En Nicaragua no se conocen datos concretos sobre la cantidad de granjas porcinas existentes en el país ni de los procesos de tratamiento de aguas residuales que son aplicados. Por tal razón, esta investigación tiene por objetivo el rediseño y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la granja porcícola Santa Adelaida de la Universidad Católica del Trópico Seco (UCATSE) en Estelí, a fin de determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en los diferentes procesos de tratamiento que la conforman y si se cumple con la normativa de vertido al ambiente vigente en el país. Adicionalmente se pretende proponer una alternativa de aprovechamiento del gas metano generado una vez que la planta empiece a operar y finalmente determinar la calidad del agua tratada, o efluente de la planta de tratamiento, para uso potencial en la agronomía.

## **1.1 Antecedentes del problema**

Desde sus inicios, la UCATSE, antes conocida como Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí (EAGE), fundada en 1968 por el Pbro. Francisco Luís Espinoza Pineda, consolidó la integración de la enseñanza para las carreras agropecuarias a través del aprender – haciendo y dentro de este proceso se construyeron granjas para la producción de especies menores, tales como apícola, cunícola, avícola, ovino-caprino y porcinos, esta última se construyó sin especificaciones técnicas constructivas ni sanitarias.

La primera granja porcina se componía de ocho jaulas o cunas de 1.40 x 1.80 metros que albergaba en sus inventarios alrededor de 50 animales en las diferentes categorías. En general la granja estaba construida de mampostería confinada y madera.



Dentro de los problemas que ocasionaba la granja, estaba la contaminación biológica del agua subterránea circundante a la granja y se encontraba positivo coliformes en las muestras de agua que se analizaban y además los olores afectaban a la comunidad educativa, debido a que las instalaciones se encontraban a menos de 400 metros de distancia de la granja, razón por la cual el Ministerio de Salud (MINSA) recomienda trasladar la granja a otro sitio más adecuado.

En el año 2011, la rectoría decide efectuar el traslado de la granja a una parcela más alejada. La nueva granja se convierte en una instalación de 346.09 m<sup>2</sup> que contiene 12 jaulas para cerdos de 9 m<sup>2</sup> cada una, una oficina, bodega y cocina, construidas con nuevas especificaciones técnicas que permiten mejorar el manejo y el proceso de enseñanza – aprendizaje a través del módulo y las prácticas que los estudiantes realizan en él.

El área productiva de la porqueriza se divide en tres ambientes: 1) gestación y maternidad, 2) destete o crecimiento y 3) Engorde. La granja tiene la capacidad instalada para atender 50 cerdos adultos.

Para realizar el adecuado manejo de los desechos y la contaminación, la granja cuenta con un sistema de tratamiento con dos unidades: Fosa Séptica de doble cámara+ humedal artificial (biofiltro), adicionalmente se encuentra un reactor anaerobio que nunca ha sido operado.

Los desechos sólidos que se generan en la granja Santa Adelaida se transportan manualmente y se vierten en los alrededores de la misma, debido a que no hay un sitio determinado para su disposición. Sin embargo, el vertido directo de las descargas líquidas sobre el suelo genera problemas serios de contaminación al suelo mismo y a los cuerpos de agua.

## 1.2 Justificación

Desde su construcción la planta no ha contado con un plan de manejo ambiental que establezca medidas precisas para evitar o minimizar los impactos ambientales negativos sobre los recursos naturales, especialmente agua y suelo. Tampoco se han implementado medidas de monitoreo de la operación y mantenimiento de la planta, como tampoco un plan de monitoreo de la calidad de vertido del efluente que garantice el cumplimiento del **Decreto 21 – 2017 Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales**, que en su **artículo 64** establece los **rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de aguas residuales provenientes de las granjas porcinas y caprinas**.

Esas deficiencias han dado lugar a problemas de contaminación que requieren ser atendidos de una manera integral y que lleven a convertir el manejo de las aguas residuales de la granja porcina Santa Adelaida en un caso ejemplar que aporte al desarrollo sostenible de la industria porcina.

La integralidad del trabajo de investigación realizado se evidencia en que además de la propuesta de rediseño y operación de la planta para el cumplimiento de la norma de calidad de vertido de efluentes, también se realizan propuestas de manejo de los subproductos del proceso de tratamiento de las aguas residuales: biogás y biol.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar una propuesta integral para reducir la contaminación en la granja porcina Santa Adelaida.

### **2.2 Objetivos específicos**

- 1.** Evaluar la situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) proveniente de la granja porcina Santa Adelaida.
- 2.** Diseñar y construir un nuevo STAR tomando en cuenta los criterios de diseños recomendados en las normas y manuales ambientales vigentes en el país.
- 3.** Poner en marcha y validar el nuevo STAR construido, en función de cumplimiento con los parámetros establecidos por el decreto 21 – 2017.
- 4.** Proponer alternativa de aprovechamiento de los subproductos obtenidos del tratamiento de las aguas residuales de la granja.

### III. MARCO TEORICO

#### 3.1 Tipos de granjas porcinas

Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2006) de México, las granjas porcícolas se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Instalaciones tecnificadas:** Los porcinos que se producen de manera tecnificada se crían en granjas generalmente grandes que pueden llegar a tener hasta 100 000 cerdos de diferentes edades, están ubicados en instalaciones donde casi todo es automático: los bebederos, los comederos y los sistemas de ventilación. Además, utilizan lo último en tecnología para su producción (SAGARPA, 2006).

**Instalaciones tradicionales o semi tecnificadas:** Los porcinos se crían en explotaciones de diferente tamaño, donde se tienen desde 100 animales en adelante y su objetivo es la venta del ganado para abasto. A diferencia de las instalaciones tecnificadas estas instalaciones son tradicionales y no usan lo último que hay en tecnología.

**Traspatio, sistema rural o de autoabastecimiento:** Los porcinos que se producen en traspatio, también denominado sistema rural o de autoabastecimiento, generalmente se mantienen en corrales rústicos contruidos sin tecnología alguna con materiales locales. En este tipo de sistema hay productores que tienen hembras para obtener lechones que se venden a otros productores para su engorda.

Según el proceso productivo las granjas porcinas pueden clasificarse de la siguiente manera (Novelo *et al.*, 2009):

**Granjas de ciclo completo:** incluyen la reproducción de cerdos, los cuales son vendidos después de su engorda hasta alcanzar aproximadamente 100 kg de peso.

**Granjas de pie de cría:** están especializadas en la producción de lechones, los cuales dejan la granja al alcanzar de 30 a 50 kg de peso.

**Granjas de engorde:** no hay hato reproductor, los cerdos destetados llegan a la granja y son engordados hasta alcanzar el precio de mercado (alrededor de los 100 kg).

### **3.2 Generación de aguas residuales**

La cantidad y la calidad de las aguas residuales generadas en una granja porcina, son datos fundamentales para la selección de la tecnología de tratamiento más apropiada, puesto que, si no se consideran las grandes variaciones en cuanto a tamaño de las granjas, grado de tecnificación y el tipo de proceso productivo, los sistemas de tratamiento pueden presentar bajas eficiencias en la remoción de los contaminantes (Garzón y Buelna, 2014).

#### **3.2.1 Agua de lavado y producción de excretas**

El agua residual generada en las granjas se genera principalmente de las siguientes fuentes:

- 1) Del agua utilizada para el lavado
- 2) De las heces y orinas producidas
- 3) Del agua de desperdicio
- 4) Del proceso productivo y su nivel de tecnificación

Las granjas pequeñas normalmente generan una cantidad de agua residual por unidad de producción animal (UPA) que es casi tres veces mayor a la generada por granjas medianas y grandes (Pérez, 2005). Esto se debe fundamentalmente a que en las granjas pequeñas los sistemas de limpieza son menos eficientes, se desperdician grandes volúmenes de agua y hay poca supervisión en los procesos.

Pérez (2005) llevó a cabo mediciones de agua residual generada por población porcina en pie en granjas de diferentes tamaños localizadas en la región de Michoacán y Guanajuato en México, cuyos resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.- Consumo de agua en granjas porcinas

<b>Tamaño de granja</b>	<b>Gasto (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Población porcina (cabezas)</b>	<b>Consumo de agua (l/cabeza*día)</b>
Grande	135.8	17546	7.7
Mediana	41.2	5608	7.3
Pequeña	43.5	2082	20.9

Pérez (2005)

Con base en el consumo de agua se puede estimar la generación de aguas residuales aplicando un factor de 0.82 sugeridos por Taiganides et al. (1997).

Se han realizado varios cálculos para estimar la cantidad de excretas (heces + orina + agua) que se producen en una explotación porcina. Pérez (2005) menciona que, por 70 Kg de peso vivo en granja, se producen entre 4 y 5 Kg de excretas. Por su parte Gadd (1973) menciona que el promedio de producción de excretas en engorda, puede ser un décimo del peso vivo por día (sólidos y líquidos), lo que representa 1.36 Kg de heces y 4.73 litros de orina por día en promedio desde el destete hasta el peso al sacrificio. Penz (2000) proporciona datos del volumen diario de excretas producida por edad y sexo de cerdo, tal como muestra la Tabla 2.

Mientras que Sweeten (1981) estima la cantidad anual producida por unidad de cerda (lo que equivale a una hembra más los cerdos producidos por ella en un año), cantidad que representa 13 toneladas de excretas por año, con un contenido de 10% de materia seca.

Tabla 2.- Producción diaria de excretas según el tipo de cerdo

<b>Etapas</b>	<b>Estiércol</b>	<b>Estiércol + orina</b>	<b>Heces + orina + agua</b>	<b>Producción total</b>
25 – 100 Kg	2.3	4.9	7.0	0.25
Hembra	3.6	11.0	16.0	0.48
H. Lactación	6.4	18.0	27.0	0.81
Semental	3.0	6.0	9.0	0.28
Lechón	0.35	0.95	1.4	0.05
Promedio	2.35	5.8	8.6	0.27

Penz, (2000)

En el Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México (Taiganides *et al.*, 1997) se reporta la producción de heces y orinas por Unidad de Población Animal (UPA). La UPA se utiliza como estándar para realizar cálculos y hacer

comparaciones entre granjas de porcinos y también entre éstas con granjas de aves y bovinos una UPA equivale a 100 kg de peso vivo por cerdo.

Tabla 3.- Producción de heces y orina por tipo de porcino

Tipo de porcino	kg de heces y orina por UPA
Sementales	2.93
Hembras gestantes	3.35
Hembras secas	5.04
Hembras en maternidad (lactantes)	8.08
Crías menores de 21 días (lechones)	9
Destetes	8.6
Engorde (crecimiento y finalización)	7

Taiganides *et al.*, (1997)

### 3.2.2 Características de las aguas residuales

Las características de las descargas en las granjas porcinas dependen en gran parte de las tasas de excreción de heces y orina, que a su vez dependen de múltiples factores: la edad del animal, su madurez fisiológica o crecimiento, sexo, cantidad y calidad del alimento ingerido, volumen de agua consumida, clima, entre otros. En la tabla 4 se muestran las características físicas y químicas de las aguas residuales generadas en granjas porcícolas según el nivel de tecnificación.

Además de las variaciones en las características de las aguas residuales según el nivel de tecnificación, éstas también pueden variar en función de las unidades que componen el proceso productivo.

Tabla 4.- Características de aguas residuales en granjas porcinas

Parámetro	Unidad	Tipo de granja		
		Tecnificada	Semi tecnificada	Traspatio
DBO	mg/L	15,061	5,500	590
DQO	mg/L	40,498	32,621	900
NT	mg/L	1,048	884	ND
PT	mg/L	430	19	ND
SST	mg/L	25,034	7,555	301
CF	NMP/100mL	9.2E+08	3.3E+11	8.8E+05

Escalante-Estrada y Garzón-Zúñiga (2010)

Cuando los procesos productivos son tecnificados es de esperarse valores mayores en los diferentes parámetros considerando un menor volumen de agua consumido. En este caso las características del agua residual dependen en gran parte de la madurez biológica y del tipo de alimento.

Tabla 5.- Características del agua residual por unidades de granjas

Parámetro	Maternidad	Destete	Gestación	Engorde	Intervalo
pH	8.24	8.33	9.12	8.46	8.24-9.12
Temperatura °C	21.9	25.9	20.9	20.5	20.5-25.9
Conductividad (mS cm <sup>-1</sup> )	2.94	4.45	-	7.99	2.94-7.99
Sólidos Sedimentables (mg/L)	0.15	8	8	32.50	0.15-32.5
SST (mg/L)	690	1000	2980	1000	690-2980
SSF(mg/L)	370	810	1400	340	340-1400
SSV (mg/L)	320	190	1580	660	190-1580
ST (mg/L)	6620	9280	10810	5420	5420-0810
STF (mg/L)	4680	6040	5720	2710	2710-6040
STV (mg/L)	1940	3240	5090	2710	1940-5090
DBO (mg/L)	1065	2162	1157	2135	1065-2162
DQO (mg/L)	2404	3777	3468	4489	2404-4489
DBO/DQO	0.493	0.573	0.333	0.478	0.44-0.48
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	165.41	539.39	64.73	1085.96	64.73-085.96
Nitrógeno orgánico (mg/L)	0.72	1.01	0.72	2.17	0.72 – 2.16
Grasas (mg/L)	7.2	36.7	89	155	7.2-155

Taiganides *et al.*, (1997)

### 3.3 Impacto ambiental de las granjas porcinas

La mayoría de las granjas dedicadas a la crianza de cerdos consumen grandes volúmenes de agua diariamente cuando se lavan las porquerizas; estas aguas se conducen a un punto determinado donde se concentran y permanecen sin ningún tipo de tratamiento. Los desechos sólidos se transportan manualmente y se vierten en los alrededores de las granjas, debido a que no hay un sitio determinado para su disposición.

Aún en el caso de que las excretas sean separadas de las aguas se tiene un efecto muy similar, ya que se depositan directamente sobre el suelo, donde se descomponen permitiendo la



proliferación de moscas y otros insectos (Vázquez *et al.*, 1996). Según Novelo (2009) los problemas ambientales asociados a la operación de granjas porcinas pueden resumirse así:

➤ **Contaminación del aire**

Las emisiones de amoníaco, sulfuros de hidrógeno, metano y dióxido de carbono producen molestias por los olores desagradables, siendo además precursores de trastornos respiratorios en el hombre y animales, entre otros problemas como es la contribución de la destrucción de la capa de ozono por la producción de óxido nitroso  $N_2O$  como parte de los gases emitidos durante la degradación microbiana (Pacheco *et al.*, 1997).

➤ **Contaminación del suelo**

El vertido de un volumen de estiércol excesivo puede ocasionar la acumulación de nutrientes en el suelo y producir su alteración en pH, la infiltración al subsuelo de nitratos, contaminación microbiológica, entre otros. Otro problema relacionado es la acumulación de metales pesados en la capa superficial del suelo, particularmente por la presencia de sales de hierro y cobre (Kato, 1995).

➤ **Contaminación del agua**

La contaminación del agua superficial por las excretas se manifiesta por la presencia de amonio y sulfatos, entre otros. El exceso de nutrientes favorece el crecimiento de las algas desencadenando con ello el agotamiento del  $O_2$  disuelto, favoreciendo la proliferación de larvas de insectos nocivos, y en casos severos se provoca la eutrofización de los cuerpos de agua. Por su parte el amonio es tóxico para los peces y los invertebrados acuáticos (Pacheco *et al.*, 1997).

### **3.4 Tratamiento de aguas residuales en granjas porcícolas**

El manejo de aguas residuales y excretas porcinas representa un problema medioambiental que cobra importancia dado el aumento sostenido de esta industria, las exigencias que imponen las leyes ambientales, así como la presión económica ejercida por aumentos en los costos de la industria agropecuaria; lo cual ha conducido a una mayor intensificación de los

sistemas de producción en lo que se destaca la reutilización de productos considerados por mucho tiempo como desperdicios (Arias, 2006).

La mayor demanda de producción a gran escala de cerdos aumenta consigo la producción de aguas residuales que contienen altos niveles de compuestos orgánicos, sólidos, patógenos, fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio(K), los cuales al no ser tratados adecuadamente pueden resultar en un impacto negativo considerable en el medio ambiente (Amini *et al.*, 2017).

### 3.4.1 Remoción de sólidos

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde palos hasta materiales coloidales. Los SST es la fracción de sólidos retenidos sobre un filtro con tamaño de poro específico una vez que la parte líquida se ha evaporado y el remanente se ha secado a peso constante de 103 a 105°C.

Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) se determinan mediante la ignición de la muestra a una temperatura de 550±50°C, los SSV son un indicador de la población microbiana activa en los procesos biológicos. Los SSF es el residuo remanente después de calcinar SST (Crites y Tchobanoglous, 2000).

El límite entre los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos se determina basándose en el tamaño de sus partículas: sedimentables (>100 µm), supra coloidales (1-100 µm), coloidales (1nm-100 µm) y solubles (<1 nm). El tamaño de las partículas afecta la transformación biológica del sustrato, las partículas relativamente grandes tienen un tiempo de descomposición mayor (Barajas- López, 2002). En la tabla 6 se muestran las unidades típicas de remoción de sólidos (Metcalf y Eddy, 2003).

Tabla 6.- Unidades típicas de remoción de sólidos

<b>Operación</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Cribado grueso</b>	Remoción de sólidos gruesos
<b>Cribado fino</b>	Remoción de pequeñas partículas
<b>Micro cribado</b>	Remoción de sólidos finos, materia flotable y algas
<b>Floculación</b>	Aglomeración de partículas desestabilizadas en flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo
<b>Sedimentación</b>	Remoción de sólidos sedimentables

<b>Operación</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Flotación</b>	Remoción de sólidos suspendidos y partículas con densidades cercanas a las del agua
<b>Filtración</b>	Remoción de sólidos suspendidos
<b>Filtración con membrana</b>	Remoción de sólidos suspendidos y coloidales y materia orgánica disuelta

Metcalf y Eddy (2003)

### 3.4.2 Remoción biológica de materia orgánica

La industria porcícola genera efluentes con alta carga de materia orgánica. En los procesos biológicos, la materia orgánica contaminante es utilizada como alimento por los microorganismos presentes en los tanques o reactores. De esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo sus funciones vitales y la materia orgánica es transformada en nuevas células y en otros productos que se pueden separar más fácilmente del agua. Los procesos anaerobios se usan principalmente en el tratamiento de lodos residuales y descargas con alta carga orgánica.

Los procesos anaerobios son ventajosos, debido al bajo rendimiento de biomasa y porque se puede obtener energía de la conversión de los sustratos orgánicos (Metcalf y Eddy, 2003). El rendimiento de la biomasa de los procesos anaerobios es más bajo que en los sistemas aerobios, cerca de 0.1 a 0.4 kg de biomasa/kg de DBO eliminada (Winkler, 2008).

En general se diferencian tres grupos principales de microorganismos en la digestión anaerobia (Mara y Horan, 2003):

- El primer grupo se compone de bacterias hidrolíticas, este grupo microbiano es el primero que interviene en el proceso de mineralización de la materia orgánica. Se encargan de degradar lípidos, proteínas, carbohidratos y materia orgánica particulada a componentes solubles sencillos tales como ácidos grasos de cadena corta, glicerol, péptidos, aminoácidos, oligosacáridos y azúcares.
- El segundo grupo se conoce como bacterias formadoras de ácido y se compone por bacterias acidógenas y bacterias acetógenas. Ambos grupos convierten los productos

de las bacterias hidrolíticas a sustratos clave de la metanogénesis, particularmente acetato, hidrógeno, dióxido de carbono, y productos intermediarios tales como formiato, propionato, butirato, etc.

- El proceso se completa con el tercer grupo bacteriano, las metanógenas, las cuales consumen los productos del grupo anterior y los convierten en los productos finales del proceso, metano y dióxido de carbono. Las metanógenas abarcan dos grupos de bacterias formadoras de metano que difieren fisiológicamente entre sí; bacterias metanógenas acetoclásticas y bacterias metanógenas hidrogenófilas.

Otros organismos que pueden presentarse en los procesos anaerobios son las bacterias sulfato reductoras, las cuales pueden ser un problema cuando las aguas residuales contienen cantidades significativas de sulfatos. Estos organismos pueden reducir el sulfato a sulfuros de hidrógeno, el cual puede ser tóxico para las bacterias metanógenas cuando se encuentra en concentraciones altas (Mara y Horan, 2003). En la figura se muestra cómo se realiza la degradación anaerobia de los compuestos orgánicos complejos.

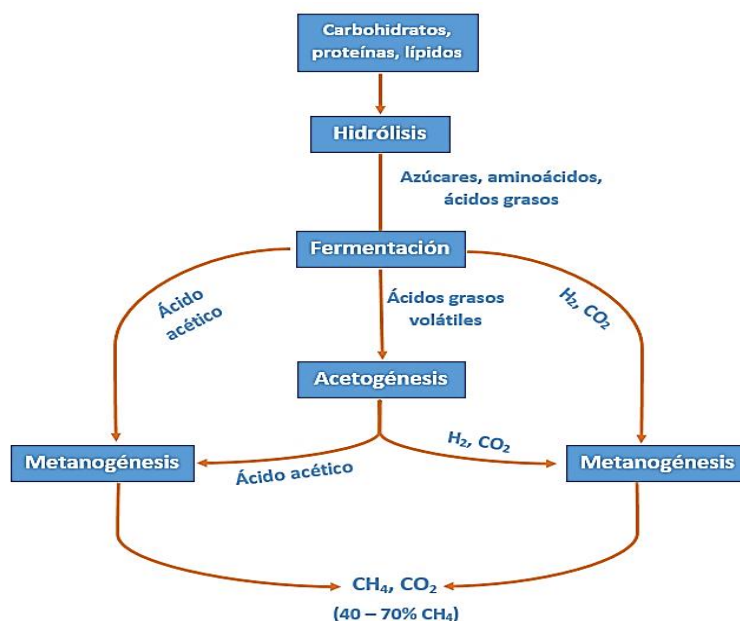


Figura 1.- Flujo del proceso de degradación de material orgánico a través de la digestión anaeróbica.

Li et al. (2011)

- **Hidrólisis:** En esta etapa, los substratos complejos (celulosa, proteína, lípidos) son hidrolizados en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.
- **Acidogénesis:** En esta etapa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes hidrogeno y CO<sub>2</sub>. Esta etapa se conoce también como fermentativa. Es decir, es un periodo de producción intensiva de ácidos, que se inicia con los alimentos y compuestos de más fácil descomposición, como las grasas, donde hay una alta producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), ácidos orgánicos y bicarbonatos; su pH se encuentra en la zona ácida, con valores entre 5.1 y 6.8, Guevara 1996.
- **Acetanogénesis:** Esta etapa ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta acético e hidrógeno, que son los verdaderos substratos metanogénicos. Es decir, es un periodo donde se producen ataques a los ácidos orgánicos y compuestos nitrosos, en pequeñas cantidades hay producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno e hidrógeno, bicarbonatos y de compuestos amoniacales; se caracteriza por presentar mal olor debido a la presencia de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), flotación de gran parte de sus sólidos, y un pH aún en la zona ácida con valores entre 6.6 y 6.8, Guevara 1996.
- **Metanogénesis:** En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula. Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno, Guevara 1996.

La reducción de contaminantes orgánicos en condiciones anaerobias se relaciona directamente con la producción de metano. La composición química de la alimentación determina la producción de gas.

Uno de los factores que determinan el tipo de ruta que seguirá el nitrato en su reducción, es la relación C/N. La relación estequiométrica C/N es 1.28, en la práctica, es necesaria una relación superior debido a la demanda adicional para la síntesis celular. Se han realizado estudios empleando fuente de carbono como metanol, glucosa o acetato para determinar la relación DQO/N que permita obtener una completa desnitrificación, obteniéndose un amplio intervalo de 2 y 9 (Méndez *et al.*, 2009). Si el agua residual presenta un contenido alto de materia orgánica, será necesario un reactor metanogénico previo al desnitrificante para distribuir biológicamente la relación C/N y obtener una mayor eliminación de carbono y nitrógeno.

### 3.4.3 Tecnologías de tratamiento de aguas residuales porcinas

Los sistemas de tratamientos de afluentes involucran procesos físicos, químicos y biológicos (Falla, 2006). Aun cuando en Nicaragua se desconocen datos sobre el tratamiento de aguas residuales en granjas porcinas, a nivel latinoamericano se han identificado algunas limitaciones asociadas al desconocimiento en la variabilidad de la composición de las aguas residuales, selección inadecuada de tecnologías, falta de personal capacitado y altos costos de operación y mantenimiento (Garzón y Buelna, 2014).

A continuación, se describen algunas tecnologías convencionales utilizadas a menudo en el tratamiento de aguas residuales porcícolas.

- **Fosa séptica**

Una fosa séptica se considera un reactor de tratamiento primario de aguas residuales, en el cual se lleva a cabo un proceso de sedimentación que permite la acumulación de sólidos y después de algún tiempo de funcionamiento se produce un proceso de digestión anaerobia (Méndez *et al.*, 2009).

El tratamiento de aguas residuales en una fosa séptica es un proceso unitario muy importante que además de la remoción de contaminantes permite la homogenización del caudal de la concentración de las descargas intermitentes de las granjas (Garzón y Buelna, 2014).

Garzón y Buelna (2014) operaron una fosa séptica para tratar el afluente de una granja porcina de tamaño medio con ciclo completo reportando valores de remoción del 47 % de los SST y el 49 % de los SSV; 38 % de la DQO; 27 % de la DBO<sub>5</sub> y 70 % del P-total. Se observó la reducción de una unidad logarítmica de Coliformes Fecales.

Los lodos producidos en las fosas sépticas a menudo presentan una elevada concentración de agentes patógenos, siendo ésta una de las principales cuestiones asociadas a la necesidad de gestionar, tratar y disponer adecuadamente los lodos.

- **El reactor anaeróbico (Digestor de lodos)**

Un reactor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos animales y humanos, desechos vegetales a excepción de cítricos ya que acidifican, etcétera) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Campero 2009).

El reactor, de forma cilíndrica o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (por ejemplo, estiércol animal producto del lavado de instalaciones) en forma conjunta con agua, y un conducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el reactor (Campero 2009).

Todos los organismos crecen a expensas de energía almacenada en moléculas orgánicas, inorgánicas o presentes en la energía radiante, como la luz solar. A fin de obtener energía los organismos transforman los productos químicos por medio de reacciones de oxidación-reducción, en donde una parte de la energía se invierte en la propia reproducción. Sin embargo, estas reacciones no tendrían éxito sin la presencia de enzimas (Castillo y Martínez, 2005).

El proceso de digestión que ocurre en el interior del reactor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás.

El biogás es una agrupación de gases que principalmente se compone de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  que se produce de la descomposición anaeróbica de materia orgánica realizada por microorganismos. El biogás puede ser utilizado igualmente como combustibles en quemadores para la calefacción de pollitos, cerdos y otros animales recién nacidos, para la iluminación mediante lámparas incandescentes, que requieren del gas a presión, al igual que las lámparas antiguas de carburos (Botero y Thomas, 1987; citado por Días Da Silva y Kreling, 2006).

Tabla 7.- Composición del biogás producido por la descomposición anaeróbica

Componente	Fórmula	Porcentaje
Metano	$\text{CH}_4$	60 - 70
Gas carbónico	$\text{CO}_2$	30 - 40
Hidrógeno	$\text{H}_2$	1.0
Nitrógeno	$\text{N}_2$	0.5
Monóxido carbónico	$\text{CO}$	0.1
Oxígeno	$\text{O}_2$	0.1
Ácido sulfhídrico	$\text{H}_2\text{S}$	0.1

Instituto de Investigaciones de México, citado por Botero y Thomas (1987)

También en el proceso se produce un efluente sólido (digestato) que contiene los nutrientes originales contenidos en la materia prima, por lo que se vuelve un subproducto aprovechable como abono orgánico para las plantas conocido como biol.

Aunque con la promoción de los reactores anaeróbicos, lo que se ha pensado inicialmente es en su papel ventajoso para la descontaminación ambiental, al usar residuos no procesados ni aprovechables; en la actualidad se promueve su uso para la obtención de metano, fuente combustible para producir alimento, o bien para la producción de energía.

Lo ideal es que el biogás producido pueda ser aprovechado por la misma industria a partir de la cual se genera. En la tabla 8 se muestra la demanda de biogás para diferentes gasodomésticos en una granja porcina.



Tabla 8.- Consumo de biogás por gasodomésticos de granjas porcinas

Gasodomésticos	Consumo de biogás m <sup>3</sup> /hora
Estufa de cocina	0.15 – 0.20
Fogón para cocinar alimentos o frutas	0.30
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60 W	0.10
Calentadores para lechones o crías de levante	0.25
Motor biogás – diésel b.h.p	0.42
Producción de 1 Kwh de corriente eléctrica con una mezcla biogás diésel	0.70

Difusión de la tecnología de biogás en Colombia, GTZ., (1987)

En el caso específico de los motores diésel, una vez en movimiento se reduce el ingreso del combustible inicial al 35 % y se introduce el biogás al 65%, a través del purificador del aire o directamente dentro de la cámara de cada inyector (Días Da Silva y Kreling, 2006).

En un reactor utilizado para tratar el afluente de una granja porcina de tamaño medio con ciclo completo, Garzón y Buelna (2014) reportan eficiencias de remoción de DQO mayores a 97%, 96% en remoción de DBO y del 99% en la remoción de SST.

Liang – Wei *et al.* (2006) estudiaron la digestión anaerobia de aguas residuales porcinas usando un reactor anaerobio con circulación interna seguido de un sistema SBR. En este caso el reactor opero con una COV de 6 – 37 KgDQO/m<sup>3</sup>\*día, con una remoción del 80 % de DQO. Por su parte Yang *et al.* (2016) realizaron un estudio utilizando un digestor de lotes de secuenciación anaeróbica a escala de laboratorio para investigar la influencia cuantitativa de la VCO en la tasa de producción de metano y la remoción de DQO durante la digestión de aguas residuales porcinas a temperaturas entre 15°C y 35°C. Las VCO estudiadas variaron desde 0.2 a 7.2 gSV/L\*día. Los resultados mostraron una reducción superior al 85% de DQO para todas las cargas estudiadas en un rango de temperatura de 25°C a 35°C. La producción de metano vario entre 0.27 y 0.35 LCH<sub>4</sub>/ gSV añadido para temperaturas entre 25°C y 35°C.

- **Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)**

El filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) es un sistema de tratamiento de aguas residuales con biopelícula fija para la remoción de materia orgánica en condiciones

anaerobias. Su utilización en México es incipiente; sin embargo, en otros países de climas templados han demostrado su eficiencia, principalmente cuando se combina con otros procesos de tratamiento biológico (Metcalf y Eddy, 2003).

El agua a ser tratada se hace pasar a través de un cuerpo poroso (lecho 1: piedra o gravilla, lecho 2: arena, lecho 3: carbón activado), llevándola al contacto con una fina bio película de microorganismo adheridos a la superficie, o floculados, donde se realiza el proceso de degradación anaeróbica. Los filtros anaeróbicos generalmente operan, con una razonable eficiencia de remoción de carga contaminante, en el rango mesófilo de temperatura, es decir, entre 25 y 38 °C.

En el FAFA, la biomasa se encuentra de tres maneras diferentes: 1) Una fina película adherida a la superficie del medio filtrante, 2) Una biomasa dispersa que es retenida en los vacíos del medio filtrante, 3) Flóculos grandes retenidos en el fondo, debajo del medio filtrante.

Según Busato (2004) presentan con principal ventaja una alta remoción de materia orgánica disuelta produciendo poco lodo y sin consumir energía eléctrica, puede ser utilizado para aguas residuales concentradas o diluidas, resisten bien las variaciones de caudal en el afluente, se produce poca pérdida de sólidos biológicos activos, operación simple y no requieren de inóculo para el arranque.

Entre las desventajas se tiene la colmatación de los intersticios del lecho filtrante, se requieren volúmenes relativamente grandes debido al espacio ocupado por el material inerte en el lecho de filtración y un aumento en el costo por el material de filtración.

Dada que una alta concentración de sólidos suspendidos en el afluente aumenta el riesgo de obstrucción del medio filtrante, el FAFA es recomendado como una unidad de pulimento, lo que permite obtener un efluente bastante clarificado con baja concentración de materia orgánica y rico en sales minerales (Busato, 2004).

Diversos autores reportan la operación de FAFA tratando aguas residuales domésticas con cargas orgánicas volumétricas COV de 5.0 a 6.0 KgDBO/m<sup>3</sup>\*día (Chernícharo, 1999), 2.5 KgDBO/ m<sup>3</sup>\*día con 83% de remoción de DQO, (Roda et al., 1985), 2.5 KgDBO/ m<sup>3</sup>\*día (Kennedy y Droste, 1986) con un TRH máximo de 1 día. Malina y Pohland (1992) mencionan que en procesos anaerobios empacados se han utilizados COV mayores a 16 Kg de DQO/m<sup>3</sup>\*día, operando con un TRH de entre 12 y 96 horas.

- **Humedales artificiales (Biofiltro)**

Debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes, fácil operación y mantenimiento, bajo costo, alto potencial de reutilización de agua y nutrientes, tolerancia a la alta variabilidad de afluentes y su función como hábitat importante de vida silvestre, los humedales artificiales (HA) han sido reconocidos como una opción sostenible de gestión de aguas residuales (Hwang 2017).

Los principales componentes de un humedal artificial son el componente vegetal, representado por plantas vasculares terrestres y/o acuáticas, los microorganismos y el material de empaque o medio de soporte constituido por agregados pétreos (Luna *et al.*, 2014).

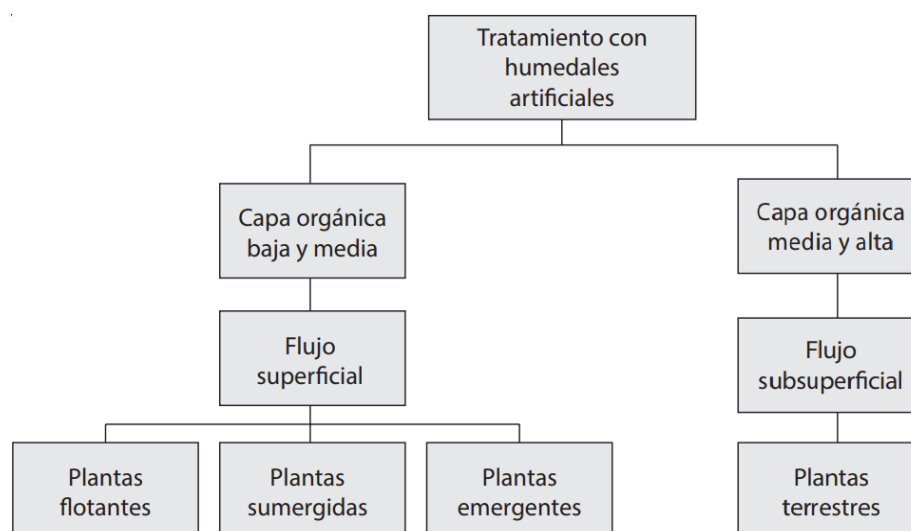


Figura 2.- Clasificación de los humedales según carga orgánica y tipo de vegetación

Adaptado por Luna *et al.*, (2014)

La remoción de contaminantes dentro de estos sistemas se da por medio de interacciones complejas de carácter fisicoquímico y microbiológico que ocurren al hacer pasar lentamente el agua residual a través de un lecho de sustrato (arena, grava, arcilla), con raíces y rizomas de vegetación emergente (Tejeda, 2014).

Mora *et al.* (2014), trataron el efluente de un biodigestor en una granja porcícola, a través de un humedal de flujo superficial con un tiempo de retención hidráulico de 10 días. Los porcentajes de remoción de DQO, NT y FT fueron de 73.5 %, 71.8% y 92.1%, respectivamente.

### **3.5 Características de las aguas residuales procedente de granjas porcinas**

Las granjas porcinas en Nicaragua términos generales son bien atendidas, priorizando el manejo productivo y descuidando el destino de los desechos, especialmente el de las aguas residuales que proceden esencialmente de las actividades del lavado de las instalaciones (Tebbut 2004).

Las aguas residuales que proceden de las granjas porcinas poseen sus propias particularidades en cuanto a características físico – químicas y biológicas, las que se detallan a continuación:

#### **3.5.1 Características físicas de las aguas residuales**

Las aguas residuales tienen entre sus características físicas la temperatura, sabor y olor, color, turbidez, sólidos y conductividad eléctrica (Tebbut 2004). A continuación, se detallan aquellas características que fueron estudiadas y que corresponden con las especificadas en la legislación nicaragüense para el tipo de aguas que se está investigando.

- **Temperatura.** Es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía (Castillo y Martínez, 2005).

La temperatura está muy relacionada con el oxígeno, tal y como lo establece Heredia (s.f) citado por González *et al.* (2007) hay una relación inversa entre la cantidad máxima de oxígeno, que pueda disolverse con el agua y la temperatura, A mayor temperatura, menor es la cantidad de oxígeno en el agua.

- **Sólidos.** Estos pueden estar presente en suspensión, en solución o ambos y se dividen en materia orgánica y materia inorgánica. Los sólidos disueltos totales (SDT) se deben a materiales solubles, mientras que los sólidos en suspensión (SS) son partículas discretas que se pueden medir al filtrar una muestra a través de un papel fino. Los sólidos sedimentables son aquellos removidos en un procedimiento estándar de sedimentación con el uso de un cilindro de 1 litro. Se determina como la diferencia entre los SS en el sobrenadante y los SS originales en la muestra.
- **Conductividad eléctrica.** La conductividad es la medida de los iones del agua contenidos en el agua. Según Tamez (1995) citado por Cánovas (1990), las aguas buenas son aquellas que contiene una conductividad no superior a los 780 micromhos/cm, y malas las que tienen más o menos 20 micromhos/cm.  
La conductividad de una solución depende de la cantidad de sales disueltas presentes y para soluciones diluidas es aproximadamente proporcional al contenido de sólidos disueltos totales (SDT).
- **Grasas y aceites.** Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo, algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad, por ello, si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido, Peral (2001) citado por González *et al* (2007).

### 3.5.2 Características químicas de las aguas residuales

Las características químicas que se toman en cuenta para el caso de las aguas residuales son las siguientes:

- **pH.** La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de hidrógenos presente.  
El pH en el agua en un reservorio fluctúa en un ciclo diurno, lo que está determinado principalmente por la concentración de  $CO_2$ , también por la densidad del fitoplancton que contenga el reservorio, por la alcalinidad total y finalmente por la dureza que el agua presente (Alicorp S.A 1997 citado por González *et al* 2007).

- **Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ).** Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en  $mg\ O_2/L$ . El método mide la concentración de materia orgánica. Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros). (Heredía s.f).
- **Demanda química de oxígeno (DQO).** Se define como la medida de la capacidad de consumo de oxígeno por la materia orgánica presente en el agua o agua residual (Gobierno de Nicaragua 1995). Se determina por la oxidación química que usa una mezcla hirviendo en dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

Peral (2001) citado por González *et al* (2007) afirma que la DQO es un indicativo de la capacidad de auto depuración del agua, teniendo en cuenta también que el agua estancada agota rápidamente su oxígeno.

Cuando la relación de  $DQO/DBO_5$  de las aguas residuales industriales es mayor que 5, son difícilmente tratables por medio biológicos y se consideran no degradables. Para valores de 3.0 y 5.0 es necesario realizar estudios adicionales para establecer su degradabilidad, si esta relación es inferior a 3.0 las aguas son tratables por medios biológicos y son consideradas degradables, Peral (2001) citado por González *et al* 2007.

- **Nitrógeno.** Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno, Peral (2001) citado por González *et al* 2007.
- **Calcio.** Alto contenido de carbonato ( $CO_3^{2-}$ ) y bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) aumenta el índice de RAS (sobre  $> 3-4\ mEq/L$  o  $> 180 -240\ mg/L$ ). A continuación, se explica como:

Los iones de carbonato y bicarbonato se combinan con Calcio y Magnesio precipitando en forma de carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ) o carbonato magnésico ( $MgCO_3$ ) cuando la solución del suelo se concentra bajo condiciones secas.

La concentración de Ca y Mg decrece en relación al sodio y el índice de RAS es mayor. Esto provoca la alcalinización y aumento del pH. Entonces, el análisis del agua indica un nivel alto de pH, esto es una señal de que los valores de carbonatos y bicarbonatos son altos (Tebbut 2004).

- **Magnesio.** Según Tebbut 2004, es un elemento poco reactivo, pero su reactividad aumenta con niveles de oxígeno. Además, el magnesio reacciona con el vapor de agua para dar lugar a hidróxido de magnesio y gas hidrógeno. El magnesio y otros metales alcalinotérreos son responsables de la dureza del agua. El agua que contiene grandes cantidades de iones alcalinotérreos se denominan agua dura, y el agua que contiene bajas concentraciones de estos iones se conoce como agua blanda. El magnesio se presenta principalmente como  $Mg^{2+}$  en soluciones acuosas, pero también como  $MgOH$  y  $Mg(OH)_2$ . También puede presentarse como  $MgSO_4$ .
- **Relación de adsorción de sodio (RAS O SAR por sus siglas en ingles).** Hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ión sodio y los iones calcio y magnesio. Por los efectos que puede producir un exceso de sodio y considerando que una de las preocupaciones del ingeniero ambiental debe de ser la conservación del suelo, para prever una degradación se calcula el SAR.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca+Mg)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde; los cationes se expresan en mEq/litro

Esta relación junto con la conductividad eléctrica se utiliza para la clasificación de aguas de riego; conocido como Reverside. Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S, afectadas de un subíndice numérico que varían entre 1 y 4, de manera que en un agua será calificada la siguiente notación.  $C_iS_j$  es la que i y j toman valores entre 1 y 4.

### 3.6 Disposiciones sobre el vertido de descargas de agua residuales

En Nicaragua, la norma legal que rige el vertido de aguas residuales estableciendo los rangos y límites máximos permitidos es **el Decreto 21 – 2017 Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales**, que en su **artículo 64** establece los rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de aguas residuales provenientes de las granjas porcinas y caprinas (tabla 9).

Tabla 9.- Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de aguas residuales provenientes de las granjas porcinas y caprinas

Parámetros	Unidades	Rangos y valores máximos permisibles
PH	-	6 - 9
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	150
Sólidos sedimentables	mL/L	1
DBO	mg/L	200
DQO	mg/L	350
Grasas y aceites	mg/L	10
Nitrógeno kjeldahl	mg/L	50
Fosfato PO <sub>4</sub>	mg/L	20

Decreto 21 – 2017, (2017)

Por su parte la **NTON 05 027-05.- Norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reúso**, establece en el acápite 8.1 que “No se permite la descarga directa o indirecta de aguas residuales no tratadas ya sea doméstica, industrial y agropecuaria en cualquier cuerpo de agua superficial, suelo y subsuelo”.

La misma norma establece en su acápite 3.11 la clasificación de aguas tratadas Tipo 1 REUSO AGRÍCOLA Y/O FORESTAL en tres categorías:

- a) **Categoría A:** Con restricción, riego de cultivos que se consumen crudos y que existe contacto directo con el agua y la tierra, tales como legumbres, hortalizas, frutos rastreros.
- b) **Categoría B:** Riego con restricción media para cultivos, cuyo fruto comestible crece sin contacto con la tierra (suelo) o con las aguas recuperadas (aguas residuales tratadas), como el frijol, maíz, trigo, arroz, caña de azúcar (consumo directo), y de cultivos no comestibles, arbustos, algodón y plantas ornamentales.
- c) **Categoría C:** De menor restricción, para cultivos perennes y algunos temporales, cuya planta y fruto no tiene ningún contacto con el agua tratada, como: caña de azúcar (para uso industrial), los bosques, árboles frutales, como cacao, naranja, mandarina, limón.



Tabla 10.- Criterios según categoría de riesgos

<b>Parámetros</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	120	200	200
Coliformes Fecales NMP/100mL	$1 * 10^3$	$1 * 10^4$	$1 * 10^5$
Huevos de Helmintos (cada 100 mL)	0	1	1
Nitrógeno Total (mg/L)	15	15	15
Fósforo Total (mg/L)	5	5	5
Tasa de Adsorción de Sodio	6	6	6
Conductividad Eléctrica en dS/m	4 (200mo)	4 (200mo)	4 (200 mo)
(mo): Micromhos/cm	NTON 05 027-05, 2006		

### 3.7 Aprovechamiento de los residuos en granjas porcinas

Los residuos porcinos no sólo son un elemento que contamina el ambiente, sino un insumo de valor económico. Según estudios realizados por Pérez (2005) en la región suroccidental de México, el 82% de los productores reciclaban los residuos, el 30% lo hacían en la agricultura y la alimentación animal, el 75% empleaban los sólidos como fertilizantes y el agua residual en riego agrícola, el 39% de los porcicultores vendían sólidos como fertilizantes y el 15 % abastecían agua residual a productores agrícolas.

#### 3.7.1 Residuos sólidos

La cerdaza o porqueraza al igual que otros estiércoles usados en la agricultura, puede ser efectiva para lograr un incremento de los rendimientos en los cultivos. La cerdaza es un producto que genera ingresos adicionales al considerársele como materia prima para la elaboración de ensilaje, compost, lombricompostaje, fertilizante para pastos y alimentación de rumiantes (Arias, 2006).

Por otra parte, cuando la cerdaza es separada de las aguas residuales se reduce la carga orgánica a ser tratada y por tanto los gastos de construcción y operación de los sistemas de tratamiento.

### 3.7.2 Aguas residuales

El creciente interés global por la obtención de energía a partir de fuentes renovables que tienen un impacto ambiental menor que las convencionales, ha permitido el aumento significativo en el uso de tecnologías de digestión anaeróbica para la producción de biogás (Divya *et al.*, 2015).

Tradicionalmente los sistemas de digestión anaeróbica para la producción de biogás se restringían al tratamiento de residuos vegetales y animales; sin embargo, actualmente este proceso es aplicado ampliamente para el tratamiento de residuos sólidos agrícolas, industriales y municipales. Según una evaluación general de la producción de biogás realizada por Divya *et al.* (2015) los principales sustratos utilizados son los estiércoles animales (36%), residuos sólidos municipales (34%) y residuos agro industriales (30%).

El biogás puede ser utilizado en la combustión de estufas para la cocción de alimentos, para iluminación e incluso como combustible para motores diésel o gasolina. Se ha descrito que un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para (IICA s.f):

- Generar 1.25 Kw/h de electricidad.
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1  $m^3$  de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1  $m^3$  de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.

Adicionalmente se ha calculado que 1  $m^3$  de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (Sasse 1989 citado por IICA s.f.).

Además de la generación del metano como fuente para el aprovechamiento energético, mediante la digestión anaerobia también se produce la destrucción de patógenos (Asia *et al.*, 2006) y se obtiene como otro sub producto un residuo digerido que puede ser considerado como una materia orgánica bastante estable (Mata Alvarez *et al.*, 2000) y que puede ser aprovechado como bio fertilizante y acondicionador de suelos.

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 Tipo de investigación**

La investigación a desarrollar es del tipo aplicada, se utilizaron conocimientos en provecho de los diferentes actores involucrados mediante la identificación, corrección y evaluación de los procesos desarrollados en la granja porcina Santa Adelaida.

### **4.2 Ubicación del área de estudio**

La investigación se llevó a cabo en la granja porcina Santa Adelaida propiedad de la Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco UCATSE – Estelí, situada en el kilómetro 166.5 carretera panamericana norte del departamento de Estelí, Nicaragua.

### **4.3 Situación de la granja sin intervención**

#### **4.3.1 Población animal**

Se realizó un inventario de la población animal según las etapas del ciclo productivo que se manejan en la granja: reproducción y cerdos lactantes hasta su destete. Al momento del inventario la granja se encontraba operando a su máxima capacidad.

#### **4.3.2 Producción de excretas**

Para determinar el PV (peso vivo) promedio por categoría, se utilizó como herramienta una cinta porcinométrica la cual presenta una correlación lineal entre el perímetro torácico del animal y su peso vivo. Este método presenta un margen de error en el peso hasta máximo de 2%.

Conocido el peso vivo y utilizando factores de tasas diarias de excreción por etapa, recomendados por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2015) en conjunto con la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

Alimentación (SAGARPA, 2006) de México, se calculó la producción total diaria de excretas.

#### 4.3.3 Caudal de lavado

La granja porcina contaba desde su apertura con un sistema de lavado a presión mediante una manguera de plástico de 2 pulgadas de diámetro conectada directamente a la salida de un pozo artesiano, se aforo durante cinco días para los dos lavados por días realizados en la granja.

Para determinar el caudal de lavado se procedió a aforar la manguera mediante el método volumétrico. El caudal de lavado se obtuvo utilizando la siguiente expresión:

$$Q = V/t \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Q = caudal de la manguera en L/s

V = volumen de un recipiente conocido en litros

t = tiempo de llenado en segundos.

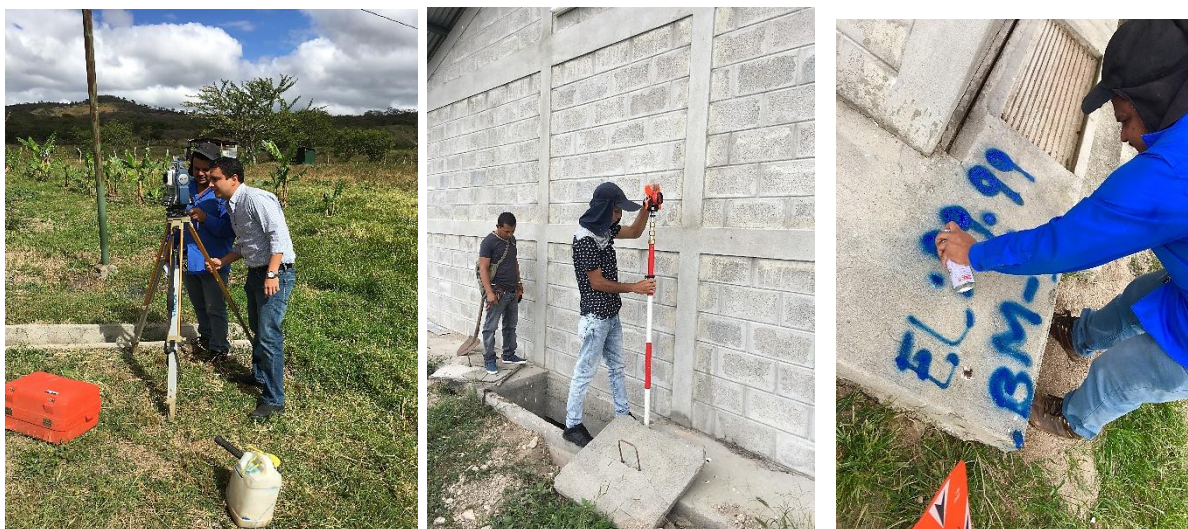
#### 4.3.4 Relación excreta/agua

Con el volumen diario de excretas y el caudal diario de lavado se procedió a determinar la relación estiércol/agua a fin de conocer el factor de dilución de las excretas y la carga diaria generada.

#### 4.3.5 Sistema de tratamiento de aguas residuales

Se realizó el levantamiento físico del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) a partir del cual se elaboraron planos topográficos, arquitectónicos y de perfiles hidráulicos de las diferentes unidades de tratamiento. Ver Anexo 1.

Con base en el levantamiento realizado se procedió a revisar el dimensionamiento de cada unidad del STAR para verificar su capacidad hidráulica respecto al volumen de agua y excretas calculado previamente.



Fotografía 1. – Levantamiento topográfico del STAR encontrado

El STAR existente estaba conformado de la siguiente manera: Fosa Séptica de dos cámaras seguida de un humedal artificial (Biofiltro). Existía un reactor anaerobio que nunca fue operado.

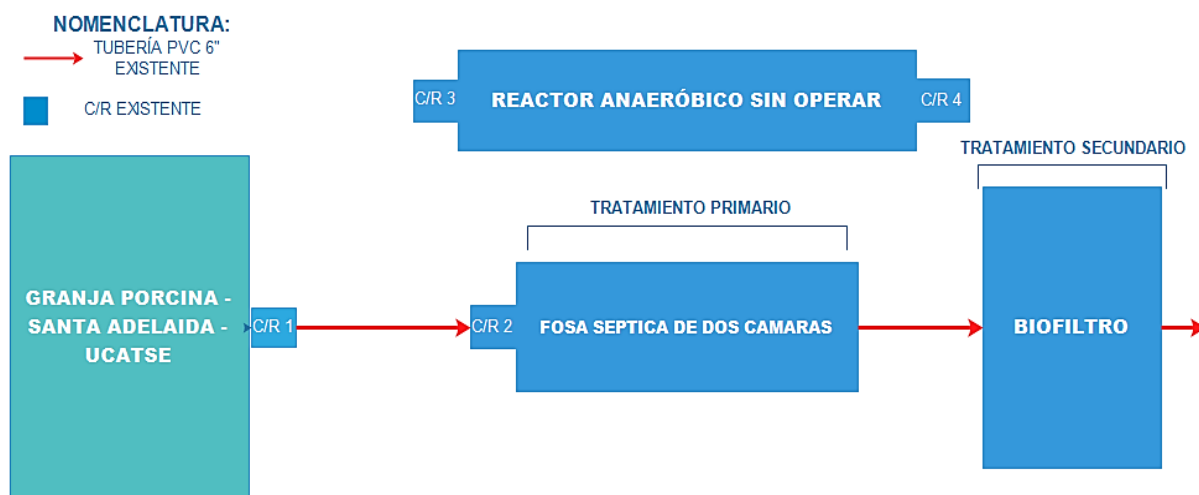


Figura 3.- Tren de tratamiento encontrado

Para la evaluación técnica de las unidades se utilizaron como referencia los criterios de diseño recomendados en las siguientes normas y manuales:

- Guía técnica para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA, s.f).
- Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, s.f).
- Guía para el diseño y construcción de humedales construidos con flujo subsuperficiales (SFCW). Environmental Protection Agency (EPA, 2013).

#### **4.4 Propuesta de mejoramiento del STAR**

Verificada la inviabilidad técnica del STAR existente se trabajó en una nueva propuesta del tren de tratamiento que garantizara el cumplimiento del Decreto 21 – 2017. Ver Anexo 2.

##### **4.4.1 Muestreo y caracterización de aguas residuales**

Se obtuvieron muestras compuestas de agua residual cruda, las cuales fueron por intervalos predeterminados durante el período de muestreo para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resultara representativo de la descarga de aguas residuales.

El dimensionamiento de las nuevas unidades de tratamiento propuestas con base en caracterización de aguas residuales de la granja Santa Adelaida, considerando los siguientes parámetros:

- pH,
- Demanda Química de Oxígeno,
- Demanda Bioquímica de Oxígeno,
- Sólidos Suspendidos Totales,
- Sólidos Volátiles Totales,
- Sólidos Sedimentables,
- Aceites y grasas,
- Fosfato,
- Nitrógeno total,
- Coliformes totales,

- Coliformes fecales,
- Calcio,
- Magnesio,
- Sodio,
- Potasio,
- Conductividad eléctrica.

#### 4.4.2 Recolección de aguas residuales

Se dimensionó un canal semi - circular para la recolección y su transporte hasta el STAR. El canal fue diseñado utilizando el programa HCANALES, el cual realiza el cálculo hidráulico con base en la ecuación de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

V = Velocidad

R = Radio hidráulico en m

S = Pendiente longitudinal en m/m

Tabla 11.- Coeficiente de rugosidad “n” de Manning

<b>Material</b>	<b>Coeficiente "n"</b>
Concreto	0.013
Polivinilo (PVC)	0.009
Hierro galvanizado (H°G°)	0.014
Hierro fundido (H°F°)	0.012
Fibra de vidrio	0.01

Metcalf y Eddy (2003)

- **Pendiente longitudinal mínima**

La pendiente longitudinal mínima deberá ser aquella que produzca una velocidad de auto lavado, la cual se podrá determinar aplicando el criterio de la Tensión de Arrastre, según la siguiente ecuación:

$$f = WRS \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

$f$  = Tensión de arrastre en Pa

$W$  = Peso específico del líquido en  $\text{N/m}^3$

$R$  = Radio hidráulico a gasto mínimo en m

$S$  = Pendiente mínima en m/m Se recomienda un valor mínimo de  $f = 1 \text{ Pa}$

- **Velocidad máxima**

La velocidad máxima de flujo deberá ser de 3 m/s.

#### 4.4.3 Pre tratamiento

El canal estará dotado de una rejilla de limpieza manual para la remoción de sólidos gruesos que pudieran interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento.

Las rejillas fueron dimensionadas con los siguientes criterios establecidos en la guía de diseño de alcantarillado sanitario de INAA, s.f:

- a) Las rejillas gruesas son aquellas con aberturas iguales o mayores de 6.4 mm pueden ser de barra o varillas de acero,
- b) la longitud de la rejilla de limpieza manual no debe exceder de lo que pueda rastrillarse fácilmente a mano,
- c) la velocidad de aproximación deberá ser de 0.45 m/s a caudal promedio.

#### 4.4.4 Unidades de tratamiento

Se propuso un tren de tratamiento de tres unidades tal como se muestra en el esquema siguiente:



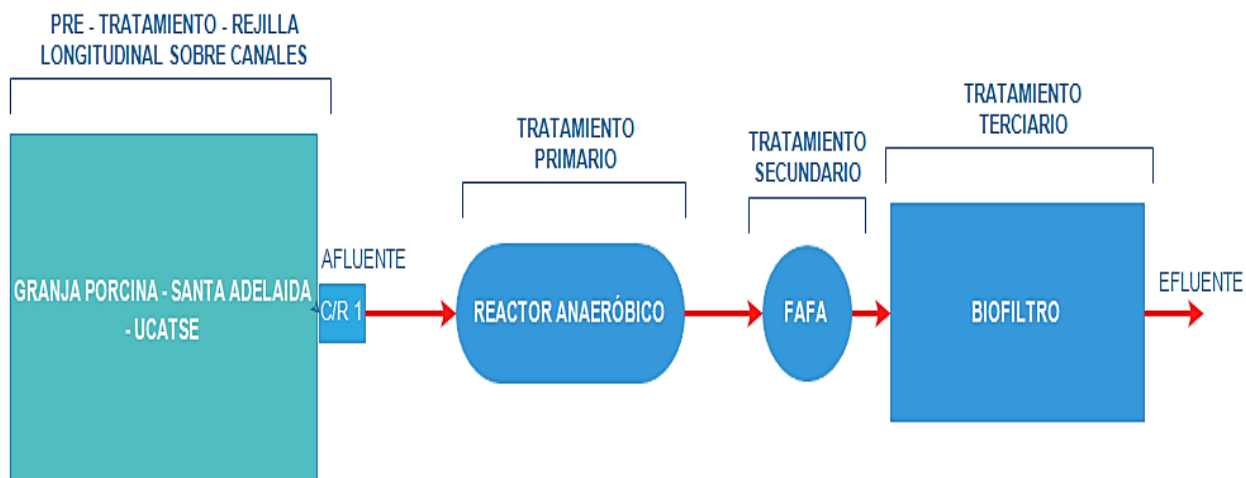


Figura 4.- Tren de tratamiento propuesto

Se determinó utilizar el tren de tratamiento de la figura 4, tomando como referencia la caracterización de aguas residuales en granjas porcinas tecnificadas reportadas por Escalante-Estrada y Garzón-Zúñiga (2010), mostrándonos concentraciones altas de: DBO ( $\geq 15,000$  mg/L), DQO ( $\geq 40,000$  mg/L), NT ( $\geq 1,000$  mg/L), PT ( $\geq 400$  mg/L), SST ( $\geq 25,000$  mg/L).

Se esperaban remociones reportadas por Garzón y Buena (2014) de DQO mayores a 97%, 96% en remoción de DBO, y del 99% en la remoción de SST, mediante la utilización de un reactor anaerobio con las mismas características del propuesto, de igual forma se esperaba alta remoción de DBO (60%), DQO (70%), SST (83%), recomendadas por la NTON 027, utilizando como tratamiento secundario un FAFA, y por ultimo tomamos en cuenta los parámetros de remoción de DBO (96%), DQO (73%) , SST (70%), reportados por Romero *et al.*, 2009 para el tratamiento de aguas residuales porcinas y aguas residuales urbanas, mediante la implementación de Biofiltro. Todos estos porcentajes de remoción fueron utilizados para estimar el efluente final del STAR y de esa manera lograr cumplir con los rangos y valores máximos permisibles establecidos por el decreto 21 – 2017 para los vertidos de aguas residuales proveniente de las granjas porcinas.

#### 4.4.5 Parámetros de diseño

- **Reactor Anaerobio**

El reactor anaerobio fue dimensionado con base en los parámetros recomendados en el Manual de especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores. (SEMARNAT, 2015), de México (Ver anexo 2):

- a. El tiempo de retención hidráulico deberá hacer de al menos 25 días para alcanzar un mínimo de 60% de destrucción de los sólidos volátiles.
- b. El cálculo del volumen mínimo del biodigestor considerará la relación que existe entre el flujo del influente, carga orgánica y el tiempo de retención seleccionado.
- c. El volumen del digestor debe ser igual al volumen del material a degradar, multiplicado por el tiempo de digestión necesario y un volumen adicional para el almacenamiento de gas.

$$V_b = V_d + V_g \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

$V_b$  = Volumen del biodigestor

$V_d$  = Volumen de biodigestión

$V_g$  = Volumen de biogás

- **Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)**

Se utilizaron los parámetros recomendados en la Guía técnica para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA, s.f). Ver anexo 2.

- a. El lecho filtrante deberá tener 1.20 m de altura.
- b. El material filtrante deberá tener una granulometría lo más uniforme posible pudiendo variar entre 4 y 7 cm colocándose la más gruesa en la parte inferior del lecho.
- c. La profundidad útil del filtro deberá ser de 1.80 m para cualquier volumen dimensionado.
- d. Para el cálculo de dimensiones del filtro se deberán utilizar las fórmulas siguientes:

$$V = 1.60Q * TRH$$

Ecuación 6

Donde,

V = volumen útil en litros

Q = Caudal de aguas residuales

TRH = Tiempo de retención hidráulica

- e. Tiempo de retención hidráulico entre 0.5 y 1 día.
- f. La pérdida de carga en el filtro deberá ser de 0.10 m; por lo tanto, el nivel de salida del efluente del filtro estará a 0.10 m abajo del nivel de la superficie del agua en el tanque séptico.

- **Humedal artificial de flujo sub superficial**

Se utilizaron los parámetros recomendados en la Guía técnica para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA, s.f).

Ver anexo 2.

- a. El medio poroso es comúnmente grava gruesa y arena con espesores de 0.45 a 1.0 m y pendiente de 0.00 a 0.005.
- b. El área de la sección transversal del lecho de un humedal de flujo subsuperficial se determina por la ley de Darcy.

$$Q = KA_t \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

Ecuación 7

Donde,

K = conductividad hidráulica del lecho completamente desarrollado, m/s. Para diseño, se toma un 10% del valor de la tabla 12.

At = área de la sección transversal del lecho (m<sup>2</sup>).

Tabla 12.- Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial

<b>Medio</b>	<b>Tamaño efectivo (mm)</b>	<b>Porosidad</b>	<b>Conductividad hidráulica (m/día)</b>
Arena media	1	0.30	500
Arena gruesa	2	0.32	1000
Arena y grava	8	0.35	5000
Grava media	32	0.40	10000
Grava gruesa	128	0.45	100000

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA, s.f)

- c. Si el lecho es plano, la gradiente hidráulica y la pendiente son prácticamente iguales y se puede usar como valor mínimo de  $\Delta h/\Delta L=0.001$ . Como la pendiente depende de la conductividad hidráulica, se pueden usar valores de 4 a 5% o mayores.
- d. Carga hidráulica entre 470 – 1870 m<sup>3</sup>/ha\*d.
- e. Profundidad del agua en el humedal entre 0.30 y 0.60 m.
- f. Profundidad del medio entre 0.45 y 0.75 m.

#### 4.4.6 Construcción del STAR propuesto

La inversión económica para la construcción del STAR propuesto (Reactor anaerobio – FAFA – Humedal) fue asumida en su totalidad por el investigador, así como también el costo de todos los análisis de laboratorio para determinar los parámetros en estudio que se tomaron en cuenta en la investigación para su evaluación, el tiempo para suministro de unidades hidráulicas pre fabricadas, instalación de unidades hidráulicas prefabricadas y construcción de humedal artificial del STAR propuesto se desarrolló en 21 días calendarios.

#### 4.4.7 Determinaciones analíticas

En la tabla 13 se indican los métodos usados para las determinaciones de los diferentes parámetros monitoreados durante la operación del STAR, los parámetros mostrados en la siguiente tabla fueron analizados en el laboratorio ambiental de aguas residuales del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicio del Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI – PIENSA. Ver Anexo 3 y 4.

Tabla 13.- Métodos para determinaciones analíticas.

DETERMINACION	METODO ANALITICO
<b>pH</b>	Método potenciométrico (4500-H+) Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>	Método analítico 5220 - C. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	Método analítico 5510 - B. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Sólidos suspendidos totales (SST)</b>	Método analítico 2540 - D. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Sólidos totales volátiles (STV)</b>	Método analítico 2540 - E. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Sólidos sedimentables (SS)</b>	Método analítico 2540 - F. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Aceites y grasas</b>	Método analítico 5520 - B. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Fosfato</b>	Método analítico 4500 - C. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Nitrógeno total</b>	Método analítico 4500 - B. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Calcio</b>	Método analítico 3500- C. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Magnesio</b>	Método analítico 3500- E. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Sodio</b>	Método analítico 3500- X. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Potasio</b>	Método analítico 3500- C. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.
<b>Conductividad eléctrica</b>	Método analítico 2510- B. Standard Methods 21 <sup>st</sup> edition, 2000.

Standard Methods 21<sup>st</sup> edition, 2000

#### 4.4.8 Producción y composición de biogás

El volumen de biogás producido se obtuvo mediante el registro de las lecturas de un medidor de flujo de gases marca Puxin, modelo JBD2.5-SA instalado en la planta de biogás. Se llevó un registro diario de las lecturas del medidor.



Fotografía 2. – Medidor de flujo de gas utilizado

Se tomaron muestras de biogás directamente en el gasoducto utilizando bolsas SKC Quality Sample Bag de 1 litro de capacidad, se realizó análisis de laboratorio para determinar la producción de metano como porcentaje del biogás generado. Dichos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Aguas Residuales del Programa BIOMASA de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Ver Anexo 5.

El método de análisis utilizado fue el de Desplazamiento de Líquidos utilizando Hidróxido de Sodio (NaOH), el cual consiste en utilizar una solución concentrada de NaOH de 15 gr/L. A medida que el biogás pasaba a través de esta solución de pH alto, el  $\text{CO}_2$  del biogás se convirtió en carbonato y fue absorbido dentro del líquido.



Fotografía 3. – Toma de muestra de biogás

Únicamente el gas metano pasó a través de la solución y un volumen equivalente fue impulsado afuera de la botella de Mariotte. El líquido desplazado se midió en un cilindro graduado y se pesó. Posteriormente se determinó su densidad y se calculó el volumen.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Situación de la granja sin intervención

#### 5.1.1 Población animal

La granja porcina Santa Adelaida tiene una capacidad instalada para albergar 52 animales en las etapas de: reproducción y cerdos lactantes hasta su destete. En la siguiente tabla se muestra el inventario de animales que regularmente se encuentran en la granja.

Tabla 14.- Población animal en la granja porcina Santa Adelaida

<b>Etapas</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Población</b>	<b>(%) por etapa</b>
<b>Reproducción</b>	Hembras Lactante	1	
	Hembras Gestantes	6	
	Hembras Secas	1	
	Sementales	3	
	Lechones	11	
	<b>Subtotal</b>	<b>14</b>	<b>27%</b>
<b>Cría</b>	Destete	6	
	<b>Subtotal</b>	<b>6</b>	<b>12%</b>
<b>Finalización</b>	Crecimiento 1	6	
	Crecimiento 2	17	
	Finalización	1	
	<b>Subtotal</b>	<b>24</b>	<b>46%</b>
<b>Total</b>		<b>52</b>	<b>100%</b>

#### 5.1.2 Producción de excretas

Con el fin de estandarizar los datos, la cantidad de excretas en kg/día se expresó por unidad de peso animal (UPA). Para estimar la unidad animal se multiplicó la cantidad de animales por el peso promedio y se dividió por 100 kg que corresponde a una UPA (Drucker et al. 2004). El peso vivo del animal se determinó utilizando una cinta porcina o cinta pesadora.



Fotografía 4. – Medición de perímetro torácico

Tabla 15.- Estimación de la producción de excretas + orina

Etapa	Tipo de cerdo	Población porcina	Perímetro torácico (cm)	Peso vivo (kg)	UPA	kg (heces + orina)/UPA	kg (heces + orina)
<b>Reproducción</b>	Hembras Lactante	1	135	131	1.31	8.08	10.58
	Hembras Gestantes	6	138	137	1.37	3.35	27.54
	Hembras Secas	1	129	119	1.19	5.04	6.00
	Sementales	3	136	133	1.33	2.93	11.69
	Lechones	11	26	5	0.05	9	4.95
<b>Cría</b>	Destete	6	42	8	0.08	8.6	4.13
<b>Finalización</b>	Crecimiento 1	6	56	14	0.14	7	5.97
	Crecimiento 2	17	57	18	0.18	7	21.76
	Finalización	1	109	82	0.82	7	5.70
<b>Total</b>							<b>98.32</b>

### 5.1.3 Caudal de lavado

La granja porcina contaba desde su apertura con un sistema de lavado mediante una manguera de plástico de dos pulgadas de diámetro conectada directamente a la salida de un pozo artesiano. La manguera descargaba un caudal de 150 L/min. Para determinar el caudal de lavado se realizó el aforo durante cinco días para los dos lavados por días realizados en la granja.

Tabla 16.- Consumo de agua en lavado

Día	Periodo	Tiempo de lavado (min)	Volumen de agua (L)
<b>1</b>	am	5.0	750
	pm	4.3	645
	<b>Total</b>	<b>9.30</b>	<b>1395</b>
<b>2</b>	am	6.5	975
	pm	5.0	750
	<b>Total</b>	<b>11.5</b>	<b>1725</b>
<b>3</b>	am	4.3	645
	pm	6.5	975
	<b>Total</b>	<b>10.8</b>	<b>1620</b>
<b>4</b>	am	6.0	900
	pm	5.0	750
	<b>Total</b>	<b>11.0</b>	<b>1650</b>
<b>5</b>	am	4.5	675
	pm	5.5	825
	<b>Total</b>	<b>10.0</b>	<b>1500</b>
<b>Consumo promedio (L/día)</b>			<b>1578</b>

El consumo promedio diario de agua en la granja para realizar el saneamiento rutinario de sus instalaciones es de 1.58 metros cúbicos de agua por día (1.58 m<sup>3</sup>/día).



#### 5.1.4 Relación excreta + orina/agua

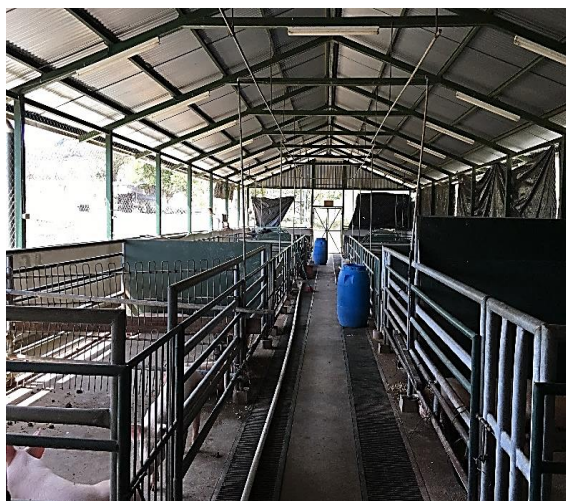
Para una producción diaria de excretas + orina de 98.32 kg/día y un caudal diario de 1578 L/día de lavado se calculó una relación estiércol + orina/agua 1:16 obteniendo un factor de dilución de 0.06. según recomendación dadas por el Manual de Usuario y Mantenimiento del Biodigestor, elaborado por sistema Biobolsa, afirman que la relación más adecuada de estiércol/agua para granjas porcinas es de 1:4, estando la relación encontrada 12 veces por encima del recomendado.

#### 5.1.5 Sistema de tratamiento de aguas residuales

Se realizó el levantamiento físico del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) existente con base en el cual se procedió a revisar el dimensionamiento de cada unidad para verificar su capacidad hidráulica respecto al volumen de agua y excretas calculado previamente. Para todas las unidades se elaboraron planos arquitectónicos y perfiles hidráulicos. Ver anexo 1.

- **Recolección y transporte**

El piso de la granja es de concreto reforzado arenillado, el cual se observa en excelente condición, no presenta fisuras ni tampoco descascaramientos por el flujo de los animales y de agua de lavado, tiene una pendiente del 2% en toda su área, la pendiente del piso dirige el estiércol, orina, residuo de alimento y agua de lavado hacia dos canales de concreto construido longitudinalmente en el centro de la granja porcina.



Fotografía 5. – Piso y canales de concreto en el interior de la granja porcina

Una rejilla de acero colocada longitudinalmente en la parte superior de cada canal evita que material no deseado (bolsas de poliestireno, guantes de látex, sacos y otros residuos) lleguen hasta los componentes del STAR. Cada canal tiene las siguientes dimensiones: Largo = 30.05 m, ancho = 0.40 m, profundidad al inicio del canal = 0.70 m, profundidad al final del canal = 0.98 m, pendiente en el fondo del canal de 1%.

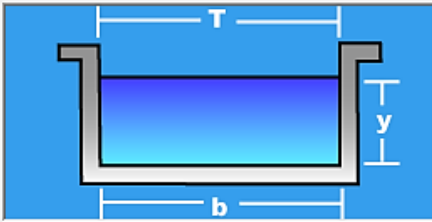
Se evaluó la capacidad hidráulica del caudal con base al caudal generado por la manguera de lavado, siendo este caudal de 150 L/m equivalente a 0.0025 m<sup>3</sup>/s, como coeficiente de rugosidad de Manning utilizamos el recomendado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS, s.f), Tecnología de bajo costo para sistemas de alcantarillado, siendo este valor para canales de concreto con acabado áspero de 0.025. A continuación, se muestra el resultado hidráulico de los canales construidos utilizando como ayuda el programa Hcanales para realizar el cálculo hidráulico.

Lugar:	<input type="text" value="Estelí"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Granja Santa Adelaida"/>
Tramo:	<input type="text"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Concreto arenillado"/>

<b>Datos:</b>			
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0025"/>	m <sup>3</sup> /s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.4"/>	m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>		
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.025"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.01"/>	m/m	



<b>Resultados:</b>					
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0216"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.4432"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0086"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0195"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.4000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.2896"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.6294"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0259"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Figura 5.- Cálculos hidráulicos de canal existente

Con esas condiciones hidráulicas se produce una tensión de arrastre de **1.92 Pa**, lo cual cumple con lo recomendado (mayor a 1 Pa) en la Guía técnica para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario del INAA, s.f.

- **Tratamiento primario: fosa séptica de doble cámara**

Como tratamiento primario, la granja porcina contaba con una Fosa Séptica de doble cámara, construida de concreto reforzado con las siguientes dimensiones: largo total (Lt) = 7.92 m (largo de la primera cámara = 6.34 m, largo de la segunda cámara = 1.58 m), ancho B = 1.20 m, profundidad H = 1.40 m. El volumen efectivo de la fosa séptica era de 13.30 m<sup>3</sup>. Ver detalles y perfiles hidráulicos en Anexo 1.



Fotografía 6. – Fosa séptica de doble cámara en granja porcina

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS, s.f), establece criterios mínimos para el dimensionamiento de fosas sépticas de doble cámara, estos criterios garantizan una fosa séptica de doble cámara bien proyectada que al final de su construcción se pueden obtener un efluente con el siguiente resultado, remoción de sólidos en suspensión (SS): 50 – 70%, reducción de DBO y DQO: 30 – 60%, remoción de grasas y aceite: 70 – 90%, remoción de huevos de helmintos: 40 – 90%, remoción de bacterias, protozoarios y virus: 40 – 90%.

Para evaluar la fosa séptica instalada como tratamiento primario de las aguas residuales de la granja porcina Santa Adelaida, se comparará los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico versus los recomendados por el CEPIS.

Tabla 17. - Calculo hidráulico de la fosa séptica de doble cámara existente

Criterio	Unidad	Criterio CEPIS	Fosa séptica Evaluada	Cumplimiento
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	días	Mayor a 0.5 días	8.43	SI

<b>Criterio</b>	<b>Unidad</b>	<b>Criterio CEPIS</b>	<b>Fosa séptica Evaluada</b>	<b>Cumplimiento</b>
<b>Ancho interno mínimo</b>	m	0.80 metros	1.20	<b>SI</b>
<b>Altura útil mínima (H)</b>	m	1.2 metros	1.40	<b>SI</b>
<b>Largo total (LT)</b>	m		L T: 7.92	-----
<b>Relación entre largo y ancho</b>	Adim.	$2 \leq L/B \leq 4$	L/b: 6.60	<b>Sobredimensionado</b>
<b>Volumen de cámara de digestión anaerobia (Va)</b>	m <sup>3</sup>	66 % del Volumen Total	VT: 13.30 V(a): 10.65 %: 80.08	<b>Sobredimensionado</b>
<b>Volumen de cámara de clarificación (Vb)</b>	m <sup>3</sup>	33 % del Volumen Total	VT: 13.30 V(b): 2.65 %: 19.96	<b>Subdimensionada</b>
<b>Largo de cámara de digestión anaerobia (La)</b>	m	66 % del Largo Total	LT: 7.92 L(a): 6.34 %: 80.05	<b>Sobredimensionado</b>
<b>Largo de cámara de clarificación (Lb)</b>	m	33 % del Largo Total	LT: 7.92 L(b): 1.58 %: 19.95	<b>Subdimensionada</b>

Con los resultados mostrados en la tabla 17, se concluye que la fosa séptica de doble cámara construida en la granja porcina Santa Adelaida no cumple en un 60 % con los criterios hidráulicos establecidos por el CEPIS, s.f, lo cual podría generar que el sistema de tratamiento primario no cumpla eficientemente su finalidad de remoción de contaminantes microbiológicos y químicos.

Como todavía no se había realizado la caracterización del agua cruda que se generaba en la granja porcina Santa Adelaida, se utilizó para la evaluación de STAR existente los parámetros sobre caracterización de aguas crudas encontrados por Escalante-Estrada y Garzón-Zúñiga (2010) correspondiente a una granja porcina tecnificada, encontrando los siguientes resultados:

Tabla 18. – Calidad estimada del efluente de la fosa séptica de doble cámara existente

<b>Parámetro</b>	<b>Caracterización Escalante – Estrada y Garzón – Zúñiga (2010)</b>	<b>Eficiencia Máxima CEPIS (%)</b>	<b>Efluente Teórico Fosa Séptica de dos cámaras</b>
DBO (mg/L)	15 061	60	6 024.40

Parámetro	Caracterización Escalante – Estrada y Garzón – Zúñiga (2010)	Eficiencia Máxima CEPIS (%)	Efluente Teórico Fosa Séptica de dos cámaras
DQO (mg/L)	40 498	60	16 199.20
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	25 034	70	7 510.20
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	9.2E+08	90	9.2 E+07

- **Tratamiento secundario: humedal artificial**

Como ultima unidad de tratamiento la granja contaba con un humedal construido de concreto reforzado, siendo las dimensiones: Largo  $L = 5.50$  m, ancho  $B = 2.70$  m, profundidad  $H = 1.00$  m, para un volumen de  $14.85 \text{ m}^3$  y un área superficial de  $14.85 \text{ m}^2$ . El humedal tenía como especie para el tratamiento del agua residual, buchón de agua (*Eichhornia crassipes*).



Fotografía 7. – Humedal artificial de la granja porcina

Para realizar la evaluación del humedal existente, se utilizó los parámetros establecidos por United State Environmental Protection Agency (EPA, 2013), tomado de su documento denominado: Guía para el diseño y construcción de humedales construidos con flujo subsuperficiales (SFCW). En la tabla 20 presentamos el cálculo hidráulico del humedal que necesitaría la granja Santa Adelaida tomando en cuenta el efluente de la fosa séptica de doble cámara mostrado en la tabla 18.

Parámetros de remoción de DBO, DQO, SST, CF reportados por Romero (2009) para el tratamiento de aguas residuales porcinas y aguas residuales urbanas, mediante la implementación de humedales artificiales (SFCW) fueron utilizados para estimar la calidad del efluente final del humedal que en este caso sería el efluente final del STAR existente.



Tabla 19. – Calidad estimada del efluente del humedal existente

Parámetro	Eficiencia Romero 2009 (%)	Efluente Teórico	
		Humedal Artificial	Decreto 21-2017
DBO (mg/L)	96	240.98	200
DQO (mg/L)	73	4 373.78	350
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	70	2 253.06	150
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	96	3.68 x10 <sup>6</sup>	1 x10 <sup>5</sup>

La tabla 19 nos muestra el efluente que entregaría el humedal que en este caso sería el efluente del STAR, si analizamos los valores de DBO, DQO, SST Y CF encontrados una vez de aplicar los porcentajes de eficiencias reportados por Romero *et al.*,2009, ninguno de los parámetros estudiados se encuentra por debajo de los establecido por el decreto 21 – 2017, por consiguiente, se puede determinar que el efluente que entregaba el STAR existente de la granja porcina Santa Adelaida no cumplía con la norma de vertido al ambiente vigente en nuestro país.

Observando la tabla 20, la granja porcina Santa Adelaida, necesitaba como tratamiento secundario un humedal subsuperficial (SFCW) con un área requerida de 30.47 m<sup>2</sup>, el humedal construido en la granja porcina Santa Adelaida tenía un área de 14.85 m<sup>2</sup> siendo esta área 48 % menor que la requerida, es muy importante analizar la carga orgánica que el humedal necesitaba procesar por KgDBO/ha\*día para cumplir con el porcentaje de remoción de DBO establecido por Romero *et al.*,2009 siendo este valor de 3314.10 KgDBO/ha\*día, estando fuera de los parámetros establecido por la EPA donde recomienda que los humedales construidos con flujo subsuperficiales (SFCW) no pueden operar con cargas orgánicas volumétricas mayores a 112.00 KgDBO/ha\*día.

Tanto la fosa séptica de doble cámara como el humedal subsuperficial presentaban agrietamiento en sus paredes de concreto reforzado, esto ocasionaba que el volumen de agua de cada una de estas unidades filtrara al terreno natural produciendo contaminación al suelo y al nivel freático.

Tabla 20. – Calculo hidráulico de humedal superficial necesario

Descripción	Símbolo	Fórmula	Valor	Unidad	Criterios
Coliformes fecales en el afluente	CFA		9.20E+07	NMP/100 ml	
Coliformes fecales en el efluente	CFE		3.68E+06	NMP/100 ml	
	CF <sub>remov.</sub>		96.00	%	
DBO <sub>5</sub> afluente	S <sub>o</sub>		6024.4	mg/l	
DBO <sub>5</sub> efluente esperado	S		240.98	mg /l	
DBO <sub>5</sub> removido	DBO <sub>5remov.</sub>		96.00	%	
Caudal medio	Qm		0.0000194	m <sup>3</sup> /seg	
			1.68	m <sup>3</sup> /día	
Medio filtrante		Arena con grava			
Porosidad	η		0.35		0.35-0.45
Conductividad hidráulica	Ks		5000	m/día	
Profundidad media del humedal	Hm		0.50	m	0.40 - 0.85 m
Temperatura del aire en el mes más frío.	T <sub>aire</sub>	10.443 + (0.688 × T <sub>aire</sub> )	18.0	°C	
Temperatura del agua en el mes más frío	Ta		22.8	°C	
Constante de biodegradación de la materia orgánica a 20°C	K <sub>20°C</sub>	1.839 × 37.31 × n <sup>4.172</sup>	0.860	d <sup>-1</sup>	
Constante de reacción de primer orden a temperatura ambiente	K <sub>d(Ta)</sub>	$K_{20C} \times 1.06^{(T_a - 20)}$	1.012	d <sup>-1</sup>	
Área superficial requerida	As	$\frac{Q_m \times [Ln(S_o) - Ln(S)]}{K_d(T_a) \times H_m \times n}$	30.47	m <sup>2</sup>	
Tiempo de retención hidráulica	Tr	$\frac{A_s \times H_m \times n}{Q_m}$	3.18	días	
Carga orgánica	L <sub>org</sub>	$\frac{S_o \times H_m \times n}{T_r}$	3314.10	KgDBO/ha*día	≥ 112, Fuera de lo típico
Carga hidráulica	CH	$\frac{Q_m}{A_s}$	550.11	m <sup>3</sup> /ha*d	470-1870, Cumple

- **Reactor anaerobio Deshabilitado**

Adicionalmente la granja porcina contaba con una estructura construida de concreto reforzado destinada a funcionar como un reactor anaeróbico alimentado manualmente. El objetivo de su construcción era el aprovechamiento de las aguas residuales generadas en la granja para la producción de biogás.

La estructura contaba con las siguientes dimensiones: largo  $L = 11.53$  m, ancho  $B = 1.23$  m, profundidad  $H = 1.84$  m, para un volumen de almacenamiento de  $26.09 \text{ m}^3$ .

Al momento del diagnóstico el reactor estaba deshabilitado y nunca fue operado.



Fotografía 8. – Reactor anaerobio en granja porcina

- **Disposición final**

El efluente líquido producido en el sistema existente era descargado libremente sobre el terreno natural, el cual durante la época seca se infiltraba, pero durante la época lluviosa la escorrentía superficial lo conducía hasta un cauce natural cercano a la granja.

## **5.2 Propuesta de mejoramiento del STAR**

Verificada la inviabilidad hidráulica y física del STAR existente se trabajó en una nueva propuesta del tren de tratamiento que garantizara el cumplimiento del Decreto 21 – 2017.

### **5.2.1 Características de aguas residuales**

Se realizó una caracterización de las aguas residuales cruda (la muestra se tomó en el punto A, ver anexo 3) generada en la granja en el laboratorio de aguas residuales de la UNI –



PIENSA al inicio del estudio, que sirviera como referencia para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento propuestas.

Tabla 21. – Características de aguas residuales crudas granja Santa Adelaida

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
pH	(-)	6.63
DQO	mg/L	25,337.95
DBO	mg/L	8,000.00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	30,250.00
Sólidos volátiles totales	mg/L	44,580.00
Sólidos sedimentables	mL/L	400.00
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1.1x10 <sup>8</sup>

Los resultados muestran que el agua residual generada en la granja Santa Adelaida es similar a la producida en una granja tecnificada según lo reportado por Escalante-Estrada y Garzón-Zuñiga (2010).

#### 5.2.2 Caudal de lavado

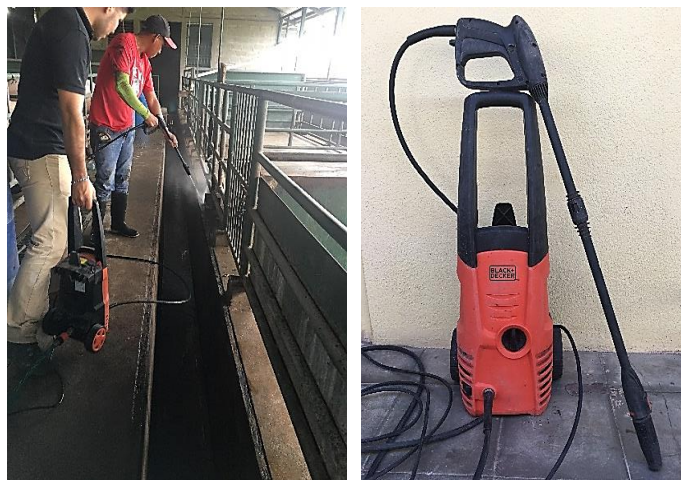
A fin de optimizar el uso de agua para el lavado se propuso el uso de una hidrolavadora Black and Decker modelo PW1300SW con un caudal de descarga de 6.5 L/min, durante 15 días se monitoreo el tiempo de lavado y la generación de excretas, esta última se recogió en un balde de 20 litros y posteriormente se calculó la cantidad de heces generadas.

Tabla 22. – Consumo de agua, generación de excreta y relación estiércol: agua

<b>Día</b>	<b>Tiempo de lavado (minutos)</b>	<b>Volumen de agua (Litros)</b>	<b>Volumen de excretas (Litros)</b>	<b>Relación estiércol: agua</b>		
<b>1</b>	48	312	85	1	:	4
<b>2</b>	46	299	83	1	:	4
<b>3</b>	44	286	80	1	:	4
<b>4</b>	49	318.5	79	1	:	4
<b>5</b>	51	331.5	86	1	:	4
<b>6</b>	49	318.5	87	1	:	4
<b>7</b>	48	312	92	1	:	3
<b>8</b>	49	318.5	89	1	:	4
<b>9</b>	47	305.5	90	1	:	3
<b>10</b>	45	292.5	88	1	:	3

Día	Tiempo de lavado (minutos)	Volumen de agua (Litros)	Volumen de excretas (Litros)	Relación estiercol: agua		
11	44	286	85	1	:	3
12	49	318.5	86	1	:	4
13	47	305.5	95	1	:	3
14	49	318.5	98	1	:	3
15	44	286	93	1	:	3
<b>PROMEDIO:</b>	<b>47.27</b>	<b>307.23</b>	<b>87.73</b>	<b>1</b>	<b>:</b>	<b>4</b>

La implementación de esta hidrolavadora ayudó a disminuir el consumo de agua en la granja, al inicio de la intervención la granja consumía un total de 1578 L/día calculándose una relación estiércol + orina / agua de 1:16, con este nuevo dispositivo utilizado se calculó una relación estiércol + orina / agua de 1:4 (disminuyéndose en un 80% el consumo de agua inicial), esta relación de estiércol + orina / agua se encuentra en el rango recomendado por Álvarez *et al.*, *sf* de 1:4 para dilución de excretas porcinas, donde expresa que las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente en una reactor anaerobio cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado alto. La cantidad de biogás producido en el reactor anaerobio disminuiría en un 75% cuando no se utiliza una dilución optima de excreta/agua, la actividad de mezclar, debe realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del reactor anaerobio para promover una digestión efectiva, Botero y Person 1986.



Fotografía 9. – Hidrolavadora utilizada para el lavado


### 5.2.3 Recolección de aguas residuales

Con el fin de garantizar condiciones hidráulicas adecuadas y de elevar el nivel topográfico del canal de recolección se dimensionó y construyó un nuevo canal con sección semi - circular para la recolección y su transporte hasta el STAR. El canal fue diseñado utilizando el programa HCANALES.

Lugar:	Estelí	Proyecto:	Granja Santa Adelaida
Tramo:		Revestimiento:	PVC

<b>Datos:</b>	
Caudal (Q):	0.0001083 m <sup>3</sup> /s
Diámetro (d):	0.1016 m
Rugosidad (n):	0.009
Pendiente (S):	0.03 m/m

<b>Resultados:</b>			
Tirante normal (y):	0.0065 m	Perímetro mojado (p):	0.0518 m
Área hidráulica (A):	0.0002 m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	0.0042 m
Espejo de agua (T):	0.0496 m	Velocidad (v):	0.4996 m/s
Número de Froude (F):	2.4131	Energía específica (E):	0.0192 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico		

Figura 6.- Cálculos hidráulicos de canal construido

El canal propuesto es de PVC, sección circular de 4" de diámetro construido a media caña. Se verificó la tensión de arrastre resultando un valor de 1.23 Pa, lo cual cumple con lo recomendado (mayor a 1 Pa) en la Guía técnica para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario del INAA.



Fotografía 10. – Canal de recolección construido

#### 5.2.4 Unidades de tratamiento

- **Reactor anaerobio**

Se dimensionó el reactor anaerobio con base en los parámetros recomendados en el Manual de especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores. (SEMARNAT, 2015), de México. Las dimensiones se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. – Dimensiones de reactor anaerobio construido

Descripción	Símbolo	Fórmula	Valor	Unidad	Criterio
Volumen diario de lavado	V <sub>lav</sub>		307.23	L/día	Obtenido de monitoreo
Volumen diario de heces + orina	V <sub>exc</sub>		87.73	L/día	Obtenido de monitoreo
Volumen diario de aguas residuales	V <sub>T</sub>	$V_T = V_{lav} + V_{exc}$	394.96	L/día	
Tiempo de retención hidráulico	TRH		25	días	Propuesto
Volumen del reactor	V <sub>r</sub>	$V_r = V_T \times TRH$	9 874.0	L	

Determinada la capacidad requerida se propuso la instalación de un reactor anaerobio pre fabricado de 10 m<sup>3</sup> (BB -10) distribuido por la empresa SISTEMA BIOBOLSA. Ver anexo 2.



Fotografía 11. – Instalación de reactor anaerobio



Para realizar el arranque del reactor anaerobio se estableció como semilla estiércol de bovino fresco, libre de pasto, arena, piedra, basura o cualquier otro elemento no deseado, mezclado a una solución de 1:4 con agua sin cloro.

El reactor inicialmente fue llenado de la siguiente manera: 60.50 % (6050.40 litros) con agua sin cloro más el restante 39.49 % (3949.60 litros) con estiércol de bovino más agua suministrado al reactor a una dosificación de 1 parte de estiércol de bovino más 4 partes de agua, este volumen anteriormente descrito equivale a 10 días de alimentación normal con agua residual para reactor en estudio, esta proporción es recomendada por Sistema Biobolsa de Nicaragua.



Fotografía 12. – Arranque del reactor anaerobio

Con base en las eficiencias de remoción de contaminantes en reactores anaerobios reportadas por Garzón y Buelna (2014) se estimó la calidad del efluente líquido del reactor anaerobio.

Tabla 24. – Calidad estimada del efluente del reactor anaerobio

<b>Parámetro</b>	<b>Eficiencia Garzón y Buelna 2014(%)</b>	<b>Efluente Teórico</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	96	320
DQO (mg/L)	97	760.14
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	99	302.5
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	90	1.1 x10 <sup>7</sup>

- **Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)**

Para el dimensionamiento del FAFA se consideró un tiempo de retención hidráulico de 1.5 días, resultando un volumen de 947.90 L.

Con base en lo anterior se propuso la instalación de un FAFA pre fabricado marca Plastitank con una capacidad efectiva de **1100 L**. A partir de ese volumen se revisó el TRH resultando de **2.7** días.



Fotografía 13. – Instalación de FAFA

Considerando las eficiencias recomendadas en el Acápite 9.3 de la NTON 05 027- se estimó la calidad del efluente del FAFA.

Tabla 25 . – Calidad estimada del efluente del FAFA

Parámetro	Eficiencia NTON 05 027 (%)	Efluente Teórico
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	60	128.00
DQO (mg/L)	70	228.04
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	83	51.43
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	90	1.1 x10 <sup>6</sup>

- **Humedal artificial de flujo sub superficial**

Se utilizaron los parámetros recomendados en la Guía técnica para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA). El dimensionamiento del humedal se muestra en la tabla 27.

Como especie acuática para el humedal se sembró la planta conocida como Tule (*Typha domingensis*) perteneciente a la familia *Typhaceae*, se escogió esta especie debido a su desarrollo exitoso en suelos con pH ácidos, neutros o alcalino, es una especie que puede soportar terrenos salinos, su parte subterránea (raíces) crece con vigor en soportes con textura

arenosa, franca o arcillosa, estos se pueden mantener generalmente empapados, también puede sobrevivir sin problemas en medios acuosos.

Parámetros de remoción de DBO, DQO, SST, CF reportados por Romero *et al.*, (2009) para el tratamiento de aguas residuales porcinas y aguas residuales urbanas, mediante la implementación de humedales artificiales plantados con *Typha domingensis* fueron utilizados para estimar la calidad del efluente final del humedal que en este caso sería el efluente final del STAR.



Fotografía 14. – Construcción de humedal artificial

En la tabla 26 se indica la calidad estimada para el efluente del humedal artificial que corresponde al efluente final del STAR y su cumplimiento con el decreto 21-2017.

Tabla 26 . – Calidad estimada del efluente del STAR

Parámetro	Eficiencia Romero <i>et al.</i> , 2009 (%)	Efluente	
		Teórico	Decreto 21-2017
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	96	5	200
DQO (mg/L)	73	61.57	350
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	70	15.4	150
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	96	4.3 x10 <sup>4</sup>	1 x10 <sup>5</sup>

Dado que los humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos la remoción de DBO fue estimada utilizando una cinética de primer orden para flujo pistón (Reed *et al.*, 1995).



Tabla 27. – Dimensionamiento de humedal superficial

Descripción	Símbolo	Fórmula	Valor	Unidad	Criterios
Coliformes fecales en el afluente	CFA		1.10E+06	NMP/100 ml	
Coliformes fecales en el efluente	CFE		4.30E+04	NMP/100 ml	< 1.00E+05, Cumple
	CF <sub>remov.</sub>		96.09	%	
DBO <sub>5</sub> afluente	S <sub>o</sub>		128.00	mg/lt	
DBO <sub>5</sub> efluente esperado	S		5.000	mg /lt	< 30, Cumple
DBO <sub>5</sub> removido	DBO <sub>5remov.</sub>		96.09	%	
Caudal medio	Qm		0.00000405	m <sup>3</sup> /seg	
			0.35	m <sup>3</sup> /día	
Medio filtrante		Arena con grava			
Porosidad	η		0.35		0.35-0.45
Conductividad hidráulica	Ks		5000	m/día	
Profundidad media del humedal	Hm		0.50	m	0.40 - 0.85 m
Temperatura del aire en el mes más frío.	T <sub>aire</sub>	10.443 + (0.688 × T <sub>aire</sub> )	18.0	°C	
Temperatura del agua en el mes más frío	Ta		22.8	°C	
Constante de biodegradación de la materia orgánica a 20°C	K <sub>20°C</sub>	1.839 × 37.31 × n <sup>4.172</sup>	0.860	d <sup>-1</sup>	
Constante de reacción de primer orden a temperatura ambiente	K <sub>d(Ta)</sub>	$\frac{K_{20C} \times 1.06^{(T_a - 20)} \times Q_m}{A_s \times H_m \times n}$	1.013	d <sup>-1</sup>	
Área superficial requerida	As	$\frac{Q_m \times [Ln(S_o) - Ln(S)]}{K_d(T_a) \times H_m \times n}$	7.68	m <sup>2</sup>	
Tiempo de retención hidráulica	Tr	$\frac{A_s \times H_m \times n}{Q_m}$	3.20	días	
Carga orgánica	L <sub>org</sub>	$\frac{S_o \times H_m \times n}{T_r}$	70.01	KgDBO/ha*día	< 112, Cumple
Carga hidráulica	CH	$\frac{Q_m}{A_s}$	546.95	m <sup>3</sup> /ha*d	470-1870, Cumple



### 5.2.5 Disposición final

Con el fin de dar un enfoque de integralidad y de sostenibilidad ambiental al STAR se propuso la reutilización del efluente líquido en el riego de cultivos agrícolas. Para ello se propuso un tanque de almacenamiento de 1000 litros de capacidad (almacenamiento para tres días establecido mediante el CPD generado en la granja) que permita contar con agua tratada de acuerdo a la demanda de agua para riego de los diferentes cultivos que pudieran desarrollarse.

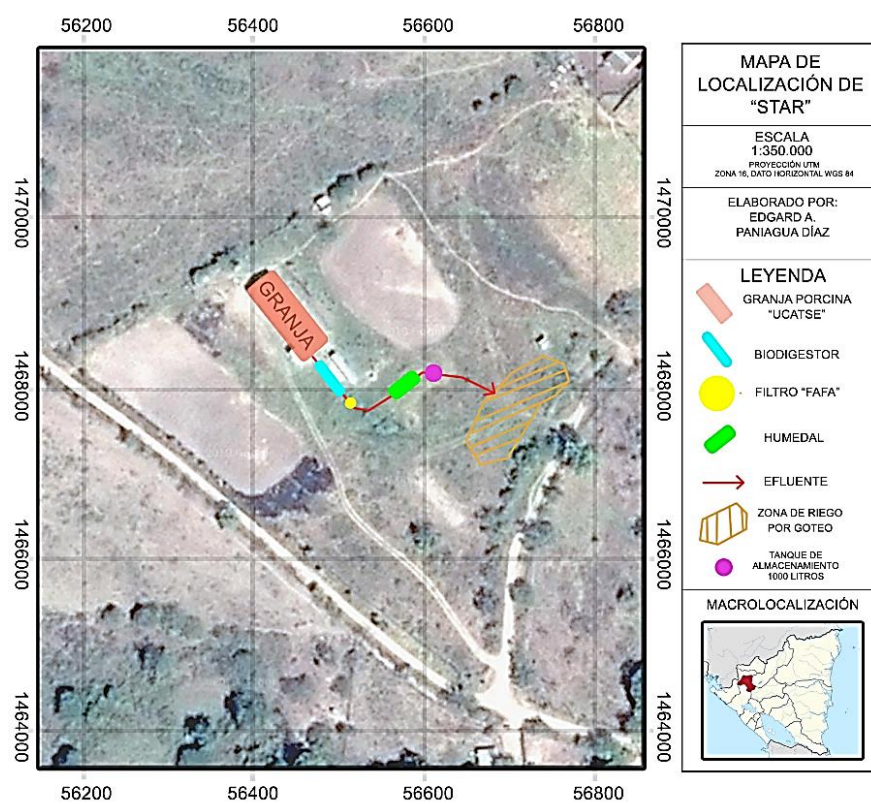


Figura 7.- Disposición final del efluente líquido del STAR

### 5.3 Arranque del STAR

Construido en su totalidad el sistema de tratamiento, se procedió a un periodo de arranque y estabilización de las diferentes unidades. El periodo total de arranque del STAR se estableció en 90 días considerando ese tiempo como el mínimo requerido para el desarrollo óptimo de las plantas en el humedal.

En cuanto al reactor anaerobio, su operación se consideró estable cuando se alcanzó una producción constante de biogás, lo cual sucedió a partir del día 28 de operación.

## 5.4 Operación y monitoreo del STAR

### 5.4.1 Tiempo de operación y monitoreo

Para este estudio se monitoreó el STAR durante dos meses a partir de que el sistema se consideró estable.

### 5.4.2 Caudal de aguas residuales

El STAR fue operado manteniendo constante el caudal de lavado de 6.5 L/min para un gasto promedio de agua para limpieza de 307.23 L/día. Así mismo el número de animales en las diferentes unidades de la granja fue constante con un promedio de generación de excretas de 87.73 kg/día, ver tabla 22.

### 5.4.3 Calidad de agua cruda

Se realizó la caracterización de las aguas residuales en la entrada (afluente) al sistema de tratamiento en intervalo de dos semanas a fin de conocer la calidad del agua residual y su variación temporal, las cuales se presentan en la tabla 28 (ver reporte en Anexo 4). En los tres muestreos realizados se presentan variaciones significativas en los valores de casi todos los parámetros, lo cual puede deberse al procedimiento de toma de muestras y al hecho de no contar con una mezcla totalmente homogénea de agua y estiércol en el afluente al sistema de tratamiento. Estas variaciones confirman una vez más la necesidad de realizar una caracterización de las aguas residuales como base para la adecuada selección de las tecnologías de tratamiento a implementar.

Tabla 28. – Caracterización de las aguas residuales de la granja Santa Adelaida

Parámetro	Unidad	Muestreos			Rango o Promedio
		1	2	3	
Potencial Hidrógeno	(-)	6.63	6.61	6.56	6.56 – 6.63
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	25,337.95	77,803.74	98,445.23	67,195.64

Parámetro	Unidad	Muestras			Rango o Promedio
		1	2	3	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	8,000.00	10,500.00	28,800.00	15,766.67
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	30,250.00	35,700.00	32,333.33	32,761.11
Sólidos Totales Volátiles	mg/L	44,580.00	31,300.00	57,270.00	44,383.33
Sólidos Sedimentables	ml/L	400.00	600.00	700.00	566.67
Aceites y Grasas	mg/L	2.60	22.70	31.10	18.80
Fosfato	mg/L	109.09	147.03	232.64	162.92
Nitrógeno Total	mg/L	1,568.00	1,400.00	1,120.00	1,362.67
Coliformes Totales	NMP/100 mL	5.40E+08	N/R	N/R	N/R
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	1.10E+08	N/R	N/R	N/R

N/R = no se reporta

Según lo reportado por Escalante-Estrada y Garzón-Zuñiga (2010) estas características corresponden a una granja tecnificada en las que por el bajo consumo de agua se alcanzan altas concentraciones de materia orgánica y sólidos. Esto hace viable el uso de tecnologías de tratamiento con un enfoque de generación y captura de biogás.

#### 5.4.4 Carga orgánica

Se calculó la carga orgánica aplicada como demanda bioquímica de oxígeno aplicada por unidad de tratamiento, encontrándose valores ampliamente variables. Ver tabla 29.

Para el biodigestor la carga orgánica promedio calculada fue de 14.76 kgDBO/m<sup>3</sup>\*día, para el FAFA de 24.33 kgDBO/m<sup>3</sup>\*día y para el biofiltro de 9.66 kgDBO/ha\*día. Para el Biofiltro la carga orgánica de operación estuvo por debajo del valor considerado en el diseño (70 kgDBO/ha\*día).

#### 5.4.5 Carga orgánica per cápita

El aporte per cápita de carga orgánica como demanda bioquímica de oxígeno se calculó en 93.15 grDBO/animal como valor promedio.

Tabla 29. – Carga orgánica por unidad de tratamiento

REACTOR ANAEROBIO (BIODIGESTOR)					PROMEDIO
Caudal Q	L/min	6.5	6.50	6.50	$CO = \frac{Q*[DBO]}{V}$
	m³/seg	0.00011	0.00011	0.00011	
	m³/día	9.36	9.36	9.36	
Volumen V	m³	10.0	10.00	10.00	
Concentración DBO [DBO]	mg/L	8,000.0	10,500.00	28,800.00	
	kg/m³	8	11	29	
<b>Carga orgánica CO</b>	<b>KgDBO/m³*día</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>27</b>	<b>14.76</b>
FILTRO ANEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)					PROMEDIO
Caudal Q	L/min	6.5	6.50	6.50	$CO = \frac{Q*[DBO]}{V}$
	m³/seg	0.00011	0.00	0.00	
	m³/día	9.36	9.36	9.36	
Volumen V	m³	1.1	1.10	1.10	
Concentración DBO [DBO]	mg/L	4,560.0	1,600.00	2,416.66	
	kg/m3	5	2	2	
<b>Carga orgánica CO</b>	<b>KgDBO/m3*día</b>	<b>39</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>24.33</b>
HUMEDAL ARTIFICIAL (BIOFILTRO)					PROMEDIO
Caudal Q	L/min	6.5	6.50	6.50	$CO = \frac{Hm*\eta*[DBO]}{Tr}$
	m³/seg	0.00011	0.00	0.00	
	m³/día	9.36	9.36	9.36	
Profundidad media del humedal (Hm)	m	0.50	0.50	0.50	
Porosidad $\eta$		0.35000	0.35000	0.35000	
Concentración DBO [DBO]	mg/L	160.0	145.00	225.00	
	kg/m³	0.16	0.15	0.23	
Tiempo de retención Tr	días	3.20	3.20	3.20	
<b>Carga orgánica CO</b>	<b>KgDBO/ha*día</b>	<b>8.75</b>	<b>7.93</b>	<b>12.30</b>	<b>9.66</b>

Tabla 30. – Eficiencia en la remoción de carga orgánica por unidad de tratamiento

Unidad de tratamiento	Unidad	Promedio en el Afluente	Promedio en el Efluente	Remoción
<b>Reactor anaerobio</b>	KgDBO/m3*día	14.76	2.67	82.00 %
<b>FAFA</b>	KgDBO/m3*día	24.33	1.65	93.22 %
<b>Biofiltro</b>	KgDBO/ha*día	9.66	5.14	46.78 %

#### 5.4.6 Remoción de contaminantes

A continuación, se hace un análisis del comportamiento del sistema de tratamiento en cuanto a la remoción de contaminantes y otros parámetros de calidad del vertido de aguas residuales establecidos en el decreto 21- 2017.

- **pH**

Para los tres muestreos se obtuvo un pH en el afluente del STAR ligeramente variable entre 6.56 y 6.63. El rango del pH en el efluente fue de 6.56 – 7.71, cumple con lo establecido por el Decreto 21 – 2017.

El aumento del pH es un comportamiento esperado en un sistema de tratamiento anaerobio que opera en condiciones estable, pues indica que los compuestos orgánicos intermedios producidos en la fase de acidogénesis están siendo consumidos y transformados a metano.

- **DQO y DBO**

Con una frecuencia de cada dos semanas se monitoreó la remoción de DQO y DBO en las diferentes unidades de tratamiento. La relación de DBO/DQO en el afluente del sistema para los tres muestreos varía entre 0.13 y 0.32 con un valor promedio de 0.23. Según Symons (1960), la relación de DBO/DQO de las aguas residuales debería ser mayor a 0.6 para que las aguas residuales puedan tratarse fácilmente a través de medios biológicos. El valor mínimo de esta relación para el tratamiento biológico debería ser 0.3.

Tabla 31. – Remoción de DQO y DBO por unidad de tratamiento y del STAR

Parámetro	Unidad	Valor Cruda	Efluente Biodigestor	Eficiencia Biodigestor	Efluente FAFA	Eficiencia FAFA	Efluente Biofiltro	Eficiencia Biofiltro	Eficiencia general
<b>MUESTREO 1</b>									
<b>DQO</b>	mg/L	25 337.95	10 509.53	<b>58.52</b>	378.51	<b>96.40</b>	309.19	<b>18.31</b>	<b>98.78</b>
<b>DBO</b>	mg/L	8 000.00	4 560.00	<b>43.00</b>	160.00	<b>96.49</b>	140.00	<b>12.50</b>	<b>98.25</b>
<b>MUESTREO 2</b>									
<b>DQO</b>	mg/L	77 803.74	2 784.30	<b>96.42</b>	451.76	<b>83.77</b>	180.39	<b>60.07</b>	<b>99.77</b>
<b>DBO</b>	mg/L	10 500.00	1 600.00	<b>84.76</b>	145.00	<b>90.94</b>	30.00	<b>79.31</b>	<b>99.71</b>
<b>MUESTREO 3</b>									
<b>DQO</b>	mg/L	98 445.23	11 802.12	<b>88.01</b>	1 173.14	<b>90.06</b>	412.72	<b>64.82</b>	<b>99.58</b>
<b>DBO</b>	mg/L	28 800.00	2 416.66	<b>91.61</b>	225.00	<b>90.69</b>	112.00	<b>50.22</b>	<b>99.61</b>

Tal como se muestra en la tabla 31 los porcentajes de remoción individualmente presentan variaciones considerables. Para el biodigestor la remoción tanto de DBO y DQO fue menor cuando su concentración en el afluente fue menor. En el FAFA los porcentajes de remoción

son menos variables para los diferentes muestreos, sin embargo, para un mismo muestreo remueve tanto DQO como DBO con la misma eficiencia.

Para el primer muestreo el Biofiltro presenta bajas eficiencias de remoción de DQO y DBO, debido a posiblemente a que, aunque las plantas sí habían alcanzado su madurez, las condiciones en el lecho de filtración aún no eran estables. Para los muestreos dos y tres se obtuvieron eficiencias mucho mayores.

Las eficiencias generales del STAR en la remoción de DQO y DBO fueron bastante altas y muy similares entre sí, sin embargo, en el tercer muestreo no se logró un efluente que cumpla el límite máximo permisible para DQO establecido en 350 mg/L.

- **Sólidos suspendidos totales**

Para este parámetro se establece un límite máximo de 150 mg/L, el cual fue cumplido al obtenerse un valor promedio en el efluente general del sistema de 54 mg/L. La eficiencia promedio de remoción para este parámetro fue de 99.83 %.

- **Sólidos sedimentables**

La concentración promedio de sólidos sedimentables en el efluente fue de 1.70 mL/L, el cual se encuentra ligeramente superior al límite máximo de 1.0 mL/L establecido en el decreto 21-2017. En este caso se logró una eficiencia de 99.65%. Sin embargo, es posible que por el proceso de pérdida de biomasa en las plantas del humedal se esté aportando sólidos sedimentables que no permiten cumplir con el límite para este parámetro.

- **Aceites y grasas**

El decreto 21 – 2017 establece como límite máximo para la concentración de grasas y aceites 10 mg/L y el valor promedio obtenido en el efluente del STAR fue de 4.43 mg/L, alcanzándose una eficiencia de remoción de 72.37%.

- **Fosfato**

En los tres muestreos el contenido de fosfato estuvo por debajo de los 20 mg/L requeridos por la norma. El valor promedio fue de 11.54 mg/L con una eficiencia del 92.74% de remoción.

- **Nitrógeno total**

El valor promedio para este parámetro fue de 87.98 mg/L presentándose en los tres muestreos valores por encima de los 50 mg/L establecidos como límite máximo.

Tabla 32. – Cumplimiento del Decreto 21 - 2017

Parámetro	Medida	Muestreos						Rango o promedio en el efluente del STAR	Decreto 21 – 2017 Art. 64
		1		2		3			
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente		
<b>Potencial Hidrógeno</b>	pH	6.63	7.42	6.61	7.55	6.56	7.71	<b>6.56-7.71</b>	<b>6-9</b>
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	mg/L	25 337.95	309.19	77 803.74	180.39	98 445.23	412.72	<b>300.77</b>	<b>350.00</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	mg/L	8 000.00	140.00	10 500.00	30.00	28 800.00	112.00	<b>94.00</b>	<b>200.00</b>
<b>Sólidos Suspendedos Totales</b>	mg/L	30 250.00	43.00	35 700.00	15.00	32 333.33	104.00	<b>54.00</b>	<b>150.00</b>
<b>Sólidos Sedimentables</b>	ml/L	400.00	3.00	600.00	0.10	700.00	2.00	<b>1.70</b>	<b>1.00</b>
<b>Aceites y Grasas</b>	mg/L	2.60	1.00	22.70	4.10	31.10	8.20	<b>4.43</b>	<b>10.00</b>
<b>Fosfato</b>	mg/L	109.09	9.15	147.03	9.18	232.64	16.30	<b>11.54</b>	<b>20.00</b>
<b>Nitrógeno Total</b>	mg/L	1 568.00	93.30	1 400.00	81.29	1 120.00	89.35	<b>87.98</b>	<b>50.00</b>

Tabla 33. – Eficiencia de remoción por unidad de tratamiento y del STAR

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Demanda Química de Oxígeno	98.78	99.77	99.58	99.38
Demanda Bioquímica de Oxígeno	98.25	99.71	99.61	99.19

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Sólidos Suspendidos Totales	99.86	99.96	99.68	99.83
Sólidos Sedimentables	99.25	99.98	99.71	99.65
Aceites y Grasas	61.54	81.94	73.63	72.37
Fosfato	91.61	93.76	92.99	92.79
Nitrógeno Total	94.05	94.19	92.02	93.42

#### 5.4.7 Aprovechamiento de sub productos del STAR

- **Aguas tratadas (Efluente del STAR)**

Se evaluó la calidad del agua tratada para su uso como agua de riego con la norma Riverside, la cual se basa en la Relación de adsorción de sodio (RAS O SAR por sus siglas en ingles) y la conductividad eléctrica. Así mismo se realizó una clasificación del agua tratada con base a la NTON 05 027-05.

##### a) Norma Riverside

Se calculó la RAS a partir de los resultados de los análisis de laboratorio correspondiente a Na, Mg, Ca y conductividad eléctrica (ver anexo No.4). Con la RAS y la conductividad, también obtenida de laboratorio, se procedió a realizar la clasificación de las aguas residuales, en la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos para cada parámetro analizado en los tres muestreos.

Tabla 34. – Clasificación del agua para riego según normativa Riverside

Parámetro	Medida	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Na	mEq/L	3.91	17.75	6.13	9.26
Mg	mEq/L	5.52	17.14	7.94	10.20
Ca	mEq/L	4.32	4.99	4.70	4.67
<b>Conductividad</b>	<b>µS/cm</b>	<b>3070</b>	<b>2300</b>	<b>3840</b>	<b>3070</b>
<b>SAR</b>		<b>1.76</b>	<b>5.34</b>	<b>2.44</b>	<b>3.40</b>
<b>Clasificación</b>		<b>C4S 1</b>			



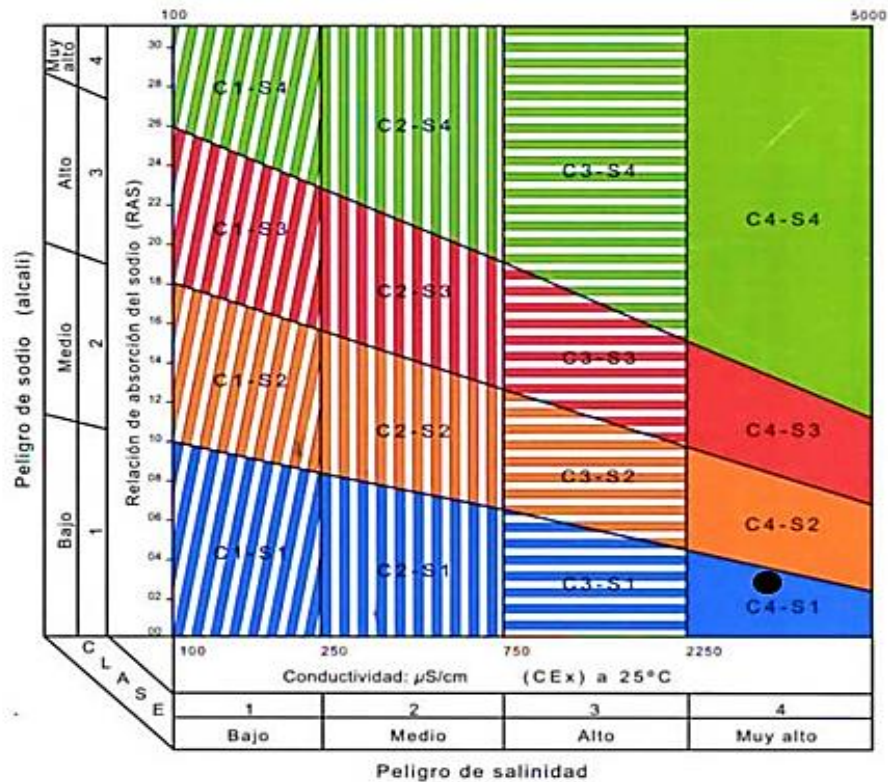


Figura 8.- Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.(U.S. *Soild Salinity Laboratory* , 1973)

Para todos los muestreos los resultados indican una clasificación del agua C<sub>4</sub>S<sub>1</sub>, lo cual indica un agua que puede ser usada para riego tomando algunas precauciones ya que por su salinidad elevada solo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje y utilizando cultivos que no sean muy sensibles al sodio.

b) NTON 05 027-05

De los parámetros establecidos en esta norma, solamente se evaluó la DBO, la tasa de adsorción de sodio y conductividad eléctrica, por lo que considerando estos tres parámetros el efluente del STAR objeto de estudio se puede clasificar como de **Categoría C** para su **REUSO AGRÍCOLA Y/O FORESTAL**. Esto indica que puede ser usada en cultivos de menor restricción tales como cultivos perennes y algunos temporales, cuya planta y fruto no tiene ningún contacto con el agua tratada, como: caña de azúcar (para uso industrial), los bosques, árboles frutales, como cacao, naranja, mandarina, limón, mango, aguacate, etcétera.

- **Biogás**

Durante siete días se llevó un registro de producción diaria de biogás obteniéndose una producción promedio de 3231.5 L/día. Considerando una concentración promedio de sólidos volátiles en el afluente de 44383 mg/L y un volumen de agua residual producida diariamente de 307.23 L, se obtiene una producción diaria de biogás de 0.29 m<sup>3</sup>/kgSV.

Tabla 35. – Registro de producción de biogás

Día	Producción (L/día)
1	3926
2	4345
3	2751
4	2876
5	2234
6	2302
7	4187
<b>Promedio</b>	<b>3231.5</b>

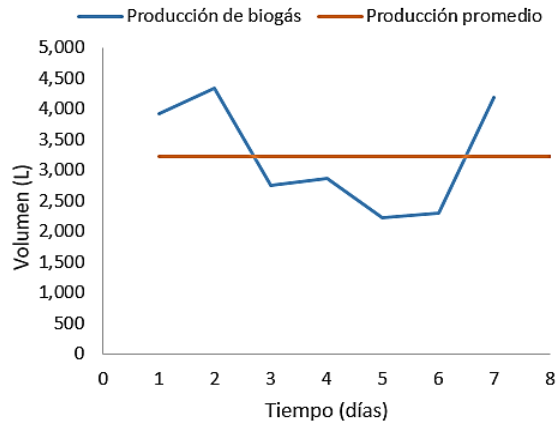


Figura 9.- Producción diaria de biogás en STAR

Este valor es muy cercano a la producción máxima reportada por Hobson (1990) quién para porcinos de engorde registró una producción de biogás entre 0.3 y 0.4 m<sup>3</sup>/kgSV con un contenido de metano entre 68 y 70%. Hansen et al. (1998) por su parte reportan una producción de biogás de 0.19 m<sup>3</sup>/kgSV añadidos a un reactor operando a una temperatura de 37°C.

Se realizó la determinación del contenido de metano en el biogás producido en el reactor anaerobio. Se realizaron tres muestreos obteniéndose valores de 64.13%, 71.13% y 63.46% para un contenido promedio de metano del 66.24%. Ver resultados de análisis en Anexo 5.

Con esta producción de biogás diaria y tomando en cuenta que a partir de 1 m<sup>3</sup> de biogás con un contenido de metano del 70% es posible generar 6.8 kW-hr de energía eléctrica, el potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás generado en el STAR sería de 21.97 kW-hr por día.

- **Biol**

Tabla 36. – Calidad de biol generado por el reactor anaerobio

<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>Nitrógeno Total (N)</b>	mg/L	826.22	560.00	672.00	686.07
<b>Potasio (K)</b>	mg/L	118.80	303.00	349.20	257.00
<b>Fósforo Total (PT)</b>	mg/L	75.95	57.68	86.59	73.41

En el efluente del reactor anaeróbico, se realizaron tres muestreos obteniéndose un promedio de: Nitrógeno total con 686.07 mg/L, Potasio en 257 mg/L y Fósforo con un 73.41 mg/L, estos valores son comparables a los reportados por Soria *et al.*, (2001), quienes encontraron en el efluente final niveles de Nitrógeno en 0.058%, Potasio 363.8 mg/L y 17.2 mg/L de Fósforo.

El contenido de nutrientes (N, P, K) obtenido del efluente fue relativamente bajo, lo que posiblemente obedeció a la cantidad de sólidos sedimentables en la excreta en el momento de alimentarse el reactor anaeróbico estuvo por debajo de 2500 mg/L que es la cantidad óptima (Soria *et al.*, 2001). Para lograr mayor eficiencia en el proceso de biodigestión y tener un abono más rico en nutrimentos, es necesario que la excreta líquida contenga mínimo 38% de sólidos totales, que en comparación al estudio solamente alcanzo un 28.55 % (87.73 L excreta diluida en 307.23 L de agua, 1/3.5), aunque el contenido de nutrientes fue bajo Soria *et al.*, 2001 recomienda que un biol con las características anteriores puede ser utilizado como biofertilizante para cultivos y lo clasifica como biofertilizante de calidad baja.

La calidad del efluente obtenido de la biodigestión de la excreta varía de acuerdo con la cantidad de sólidos sedimentables totales contenidos en está, ya que estos sólidos son los que sirven de alimento a los microorganismos responsables de la biodigestión. Por ello, entre mayor sea la concentración de sólidos totales, se tendrá mayor contenido de nutrientes en el efluente (Botero y Thomas, 1987).

## VI. CONCLUSIONES

- a. El sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) encontrado en la granja porcina Santa Adelaida antes de la intervención a través de este estudio, no cumplía con las condiciones físicas y de operación adecuadas para garantizar el vertido de un efluente con la calidad requerida por la normativa nacional.
- b. Se diseñó y construyó un nuevo sistema de tratamiento tomando como base la producción y caracterización de las aguas residuales producidas en la granja. El nuevo sistema incluyó el mejoramiento de obras de recolección y transporte de las aguas residuales hasta el sistema de tratamiento.
- c. Después de 3 meses de arranque y 2 meses adicionales de evaluación del STAR construido se determinó que el tren de tratamiento propuesto permite generar un efluente que cumpla con la calidad de vertido requerida por el Decreto 21 – 2017.
- d. Tanto el efluente líquido del STAR como el biogás producido pueden ser aprovechados con fines de dotar de un carácter de sostenibilidad ambiental a la granja. Se determinó que el efluente líquido producido tiene la calidad para ser usado como agua de riego. El biogás por su parte tiene un contenido de metano cuyo potencial energético lo hace viable para la producción de energía eléctrica o calorífica, mientras que el biol generado por el reactor anaerobio puede ser utilizado como biofertilizante para cultivos.
- e. Durante los dos meses de evaluación del STAR construido se determinó que el reactor anaerobio instalado opero con un VCO promedio en el afluente de 14.76 KgDBO/m<sup>3</sup>\*día obteniendo un porcentaje de remoción del 82.00 % con respecto a la DBO, mientras que le FAFA opero con un VCO promedio en el afluente de 24.33 KgDBO/m<sup>3</sup>\*día obteniendo un porcentaje de remoción de 93.22 % con respecto a la DBO, tanto sistema Biobolsa de Nicaragua como Plastitank no presentan rango de operación con respecto al VCO que puede operar la unidades hidráulicas anteriormente descritas, los datos encontrados en esta investigación pueden ser utilizados para validar estas dos tecnologías y para comparar resultados en otras investigaciones similares.

## VII. RECOMENDACIONES

Para garantizar que los parámetros establecidos se encuentren más cercanos unos con otros referentes a la caracterización del agua cruda de la granja porcina Santa Adelaida en posteriores muestreos realizados es necesario la construcción de una pila de homogenización al inicio del STAR instalado, esto ayudará a tener un afluente homogéneo ingresando al STAR instalado y datos más precisos a la hora de realizar el muestreo, como también evitará sobre carga de materia orgánica en el reactor anaerobio instalado.

Es necesario dar seguimiento al STAR instalado, se sugiere levantar muestras de agua del efluente del STAR instalado cada seis meses y verificar los valores obtenidos de los parámetros evaluado conforme al Decreto 21-2017, adicionalmente se propone realizar en este seguimiento análisis de metales pesados con el objetivo de evitar acumulación de metales pesado en la capa superficial del suelo y cambio en su pH.

Para posteriores investigaciones en el STAR instalado se deberá de construir una estructura de control de caudal antes del STAR, puede ser una canaleta parshall o un vertedero esto con el objetivo de llevar un mejor registro del volumen de agua residual que ingresa al STAR.

Aunque el STAR cumple en la mayoría de parámetros establecidos en el Decreto 21 – 2017 se deben hacer los ajustes necesarios para cumplir la totalidad de los parámetros. Para mejorar la eficiencia del STAR en la disminución de sólidos sedimentables se propone la construcción de un sedimentador después del Biofiltro. El sedimentador retendría sólidos que podrían recircularse al biodigestor o disponerse como mejoradores de suelos según sus características.

Dado que el efluente no se descargará a un cuerpo de agua, la concentración de nitrógeno por encima del límite máximo permisible no representa un problema de contaminación, ya que, por el contrario, este nutriente es necesario para los cultivos que se van a regar con el efluente. Por tanto, se recomienda la selección de cultivos cuya demanda de este nutriente esté acorde a las concentraciones encontradas en el efluente del STAR.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Arias, J. (2006). Manejo de aguas residuales y excretas en la producción de cerdos en Zamorano, Honduras. ZAMORANO Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria.
- Amini O, Jiménez R., Bedoya O., (2017). Tratamiento de efluentes porcícolas, cinética y diseño. Tesis de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. UNAM, 115 pp.
- Asia F., Daumer M., Loyon L., Pourcher A., Dabert P., Guiziou F. y Peu P.(2006). The efficiency of biological aerobic treatment of piggery wastewater to control nitrogen, phosphorus, pathogen and gas emissions. Wat. Sci. Tech., 57(12), 1909-1914.
- Álvarez, J.M.; Caneta, L.; Moyano, C.; (sf). Biomasa y biogas. Trabajo de Curso (Máquinas Térmicas II). Universidad Nacional del Nordeste. 15p. Disponible en Internet: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>, Consultada Enero 2018.
- Barajas, A. y Steiner, R. (2002). “Credit stagnation in Latin America”, IMF Working Paper, no. 02/53, International Monetary Fund, Washington.
- Busato V (2004). Treatment of piggery waste stabilization ponds. Wat. Sci. Tech., 45 (1), 55-60. Ferrara de Giner G. y Ramírez A. (2008). La influencia de la relación C/N en la remoción de nitrógeno usando un sistema combinado de reactores por carga secuenciales. XXXI Congreso Interamericano AIDIS. Santiago-Chile.
- Botero, B.M. y R.P. Thomas. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Botero Raúl, Thomas R Preston, manual para su instalación, operación y utilización de biodigestores anaerobios, Numero de pág. 20, consultado el 16 de mayo de 2017, Disponible el <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf>.
- CRITES, R., & TCHOBANOGLOUS, G., Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 2a ed., Bogotá-Colombia. McGraw-Hill. 2000, pp. 7-10; 200-204.

- Campero T. (2009). Comparación de dos medios de soporte de biopelícula (liso y poroso) para nitrificación y desnitrificación de lixiviados utilizando reactores anaerobios. Tesis. Programa de Maestría y Doctorado en ingeniería ambiental. UNAM.
- Castillo V. y Martínez D. (2005). Treatment of piggery waste stabilization ponds. Wat. Sci. Tech., 45 (1), 55-60. Ferrara de Giner G. y Ramírez A. (2008). La influencia de la relación C/N en la remoción de nitrógeno usando un sistema combinado de reactores por carga secuenciales. XXXI Congreso Interamericano AIDIS. Santiago-Chile.
- Cánovas C, Juan 1990. Calidad agronómica de las aguas de riego. IV ed., Madrid. 55p.
- Divya G. Adam, Escalante S. R., Gómez G. V., Magaña R. S. La industria porcina en Yucatán: un análisis de la generación de aguas residuales. (2015). Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía. Vol. 34, núm. 135, X-XII
- Días da Silva Emerson, Kreling Julio César. (2006). Tipo de biodigestores. Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. EARTH (Escuela De Agricultura De la Región Tropical Húmeda.) 91 P, Consultado el 4 marzo 2012. Disponible en <http://www.earth.ac.cr/>
- Escalante-Estrada, V. E., Garzón-Zúñiga, M. C. (2010). Opciones de tratamiento para aguas residuales de tres granjas porcinas. Ingeniería Agrícola y Biosistemas 2 (2): 87-90.
- Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México. (2010). Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México. (2015). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SERMARNAT).
- Falla Cabrera Humberto. 2006. Reciclaje de residuos y desechos de las industrias cárnicas y lácteas. Proyecto de desarrollo de la producción de cárnico sanos en el Norte del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Ecuatoriano de Cooperación

- Internacional, Dirección General de Cooperación al Desarrollo de Reino de Bélgica, Cooperación Técnica Belga, Ibarra. Quito, Ecuador. 144p.
- Flores Contreras E. (2007). Evaluación de la combinación de dos medios de soporte en reactores de lecho móvil para la remoción de nitrógeno. Tesis de maestría. Posgrado de Ingeniería Ambiental. UNAM. 95 pp.
- Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales. Instituto Nicaragüense de Acueducto y Alcantarillados ente Regulador. INAA (1976).
- Guía para el diseño de Tanques Sépticos, tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Organización Panamericana de la Salud OPS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. Lima (2005).
- Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales, División de Manejos de Aguas Rama de Instalaciones Municipales Sección Técnica. EPA (2005).
- Guevara V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.
- González, T.; Brenes, B.; Lanuza; M. 2007. Aprovechamiento de las aguas domesticas tratadas para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) Estelí 2005. T.T para Ing. UCATSE. Estelí, Nicaragua. 112p.
- Gadd J. 1973. Getting to grips with pig muck. Pig Farming, April pp 31-33.
- Garzón-Zúñiga M. A., y Buelna G. (2014). Aeration effect on the efficiency of swine manure treatment in a trickling filter packed with organic materials. Wat. Sci. Tech., 55(10), 135–143.



- Garzón-Zúñiga M. A., y Buelna G. (2014). Aeration effect on the efficiency of swine manure treatment in a trickling filter packed with organic materials. *Wat. Sci. Tech.*, 55(10), 135–143.
- Hobson, P. N. (1990) The treatment of agricultural wastes. Capítulo del libro: Anaerobic digestion: a waste treatment technology. Ed. Weatley. Critical reports on applied chemistry. Vol. 31, pag. 121.
- Hansen, J. E., M. Sato, A. Lacis, R. Ruedy, I. Tegen, and E. Matthews, Climate forcings in the Industrial Era, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 95, 12,753 – 12,758, 1998.
- Heredia Brunilda. s.f. Tipos de piscicultura, Aspectos técnicos de la producción. Centro de investigación agropecuaria del estado de Guarico, Guanapito. Consultado el 12 de Mayo, 2016, disponible en <http://www.fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fd61/piscicu.html>.
- Hwang I., Min K., Choi E. and Yun Z. (2017). Nitrogen removal from piggery waste using the combined SHARON and ANAMMOX process. *Wat. Sci. Tech.*, 52 (10–11), 487–494.
- Kato, Luis M. (1995). “La producción porcícola en México: Contribución al desarrollo de una visión integral”. Universidad Autónoma Metropolitana. México. Pp. 21-41.
- Li, Y., Park, S. Y., y Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821–826. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.042>
- Luna F., Daumer M., Loyon L., Pourcher A., Dabert P., Guiziou F. y Peu P. (2014). The efficiency of biological aerobic treatment of piggery wastewater to control nitrogen, phosphorus, pathogen and gas emissions. *Wat. Sci. Tech.*, 57(12), 1909-1914.
- Manual de Usuario Uso y Mantenimiento del Biodigestor. Sistema Biobolsa. México (2016).
- Mora G., Dubé R., y Turgeon N. (2014), Pig manure treatment by organic bed biofiltration. *Desalination* 231, 297-304.

- Mara, D., Horan, N.J. 2003. The handbook of water and wastewater microbiology. Academic Press. U.K.
- Nicaragua en cifras – Nicaragua in figures. (2017). Banco Central de Nicaragua – Central Bank of Nicaragua (BCN).
- Méndez Novelo, R, Castillo Borges, E., Vázquez Borges, E., Briceño Pérez, O., Coronado Peraza, V., Pat Canul, R. y Garrido Vivas, P. (2009). Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. Ingeniería 13 (2) 13-21.
- Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th edition. McGraw Hill, New York. ISBN: 0-07- 041878-0.
- Mata Álvarez, Robles Sandra, Jansen Andreas. 2015. Professional energy and environmental consultancy. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso fermentación anaeróbica para producción de biogás y biosol (composición química del biosol). Consultado el 01 mayo 2016. 10 p. Disponible en <http://www.german-profec.com>.
- NBR 13969.- Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. (1997]) Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT).
- Novelo et al.,2009, Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados, Factores ambientales que influyen en la digestión anaerobia. Instituto de Investigaciones Porcinas. PO Box 1, Punta Brava. La Habana 2000, Cuba, Disponible en E-mail: julioly@utafoundation.org. Consultado el 7 de mayo del 2017.
- Orozco, C., Saucedo T. R., Barrientos E., Gómez R. S., González A. I., Araujo D. G. (2014) Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales provenientes de granjas porcícolas. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2006) Folleto técnico Núm. 7 ISBN: 978-607-37-0325-3.

- Pacheco A. J. Sauri, Ma. Rosa R. Cabrera, Armando S. (1997). "Impacto de la Porcicultura en el Medio Ambiente". Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería. Yucatán, México. Vol 1 No. 3 Pp. 53-58.
- Penz A.M.Jr. 2000. Efecto de la nutrición en la cantidad y en la calidad de los desechos de los cerdos. Duodécimo ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. FERMEX, México D.F. 22 de septiembre. pp 1-23.
- Pérez. (2005) Porcicultura y contaminación del agua en La Piedad, Michoacán, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 17 (1) 5- 99.
- Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales. DECRETO 21 -2017. (2017).
- Reed S. C., Crites R. W., Middlebrooks E. J. (1995). Natural Systems for waste management and treatment. 2da edición Mcgraw Hill, New York.
- Romero M., Colín A., Sánchez E. y Ortiz M. - Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de carga orgánica. Rev. Int. Contam. Ambient, Vol. 25, No 3 (2009) 157-167.
- Soria Fregoso, Manuel de Jesús; Ferrera Cerrato, Ronald; Etchevers Barra, Jorge; Alcántar González, Gabriel; Trinidad Santos, José; Borges Gómez, Lizette; Pereyda Pérez, Gaspar Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo Terra Latinoamericana, vol. 19, núm. 4, octubre-diciembre, 2001, pp. 353-362 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México
- Sweeten, J., C. Fulhage, f. Humenik. (1981). Methane gas from swine manure. Pork industry handbook. Michigan State University. Cooperative Extension Service.
- Taigainides E. P., Pérez R. y Girón E. (1997). Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México. Instituto de Investigaciones Económicas UNAM. México, 141p.
- Tejeda G Arturi. (2014). The impact of increased loading rate on granular media, rapid depth filtration of wastewater. Wat. Res., 41, 4535-4545.

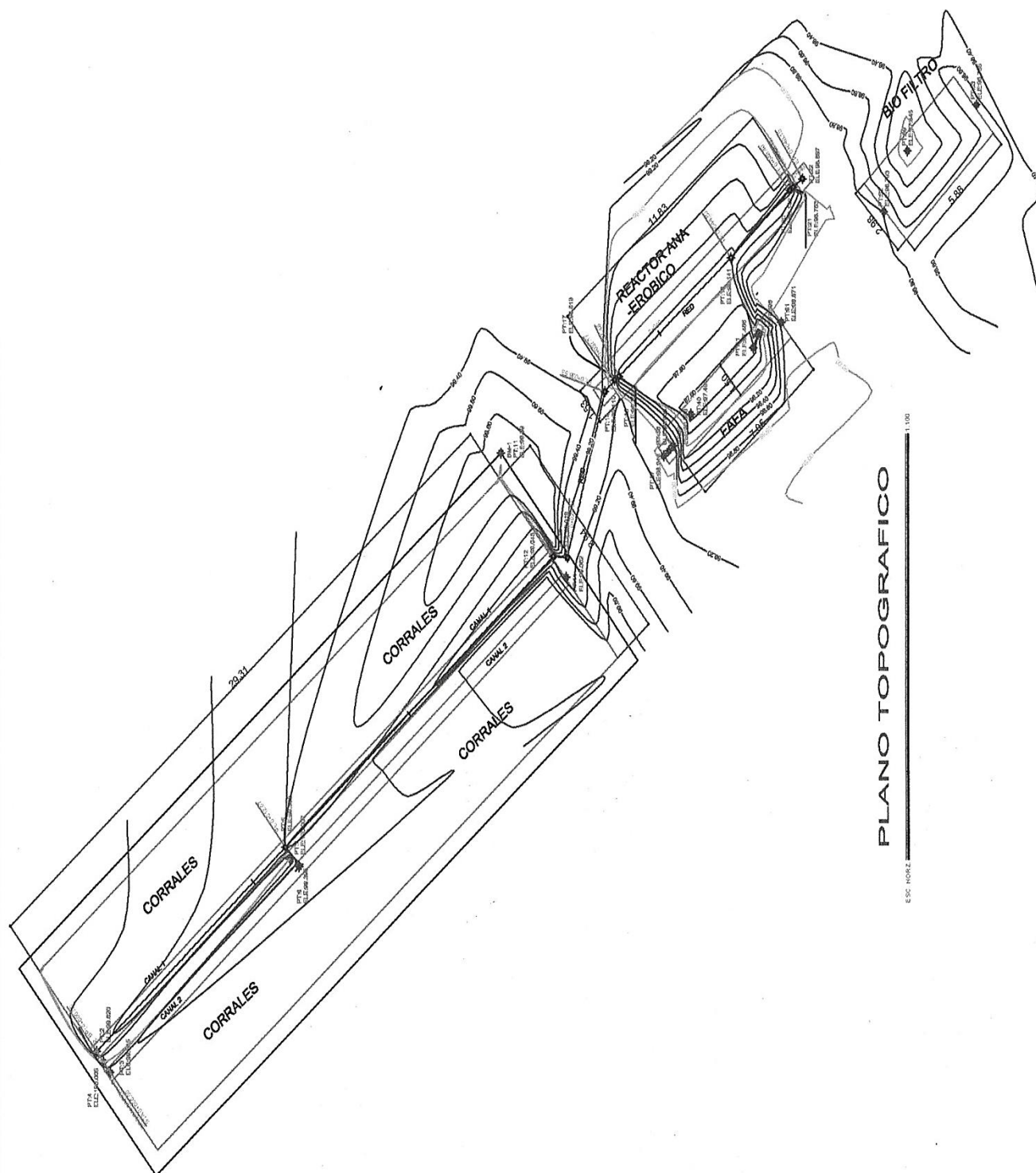
Tebbut 2004. Fundamentos de control de calidad de agua. Limusa. 89. Pág.

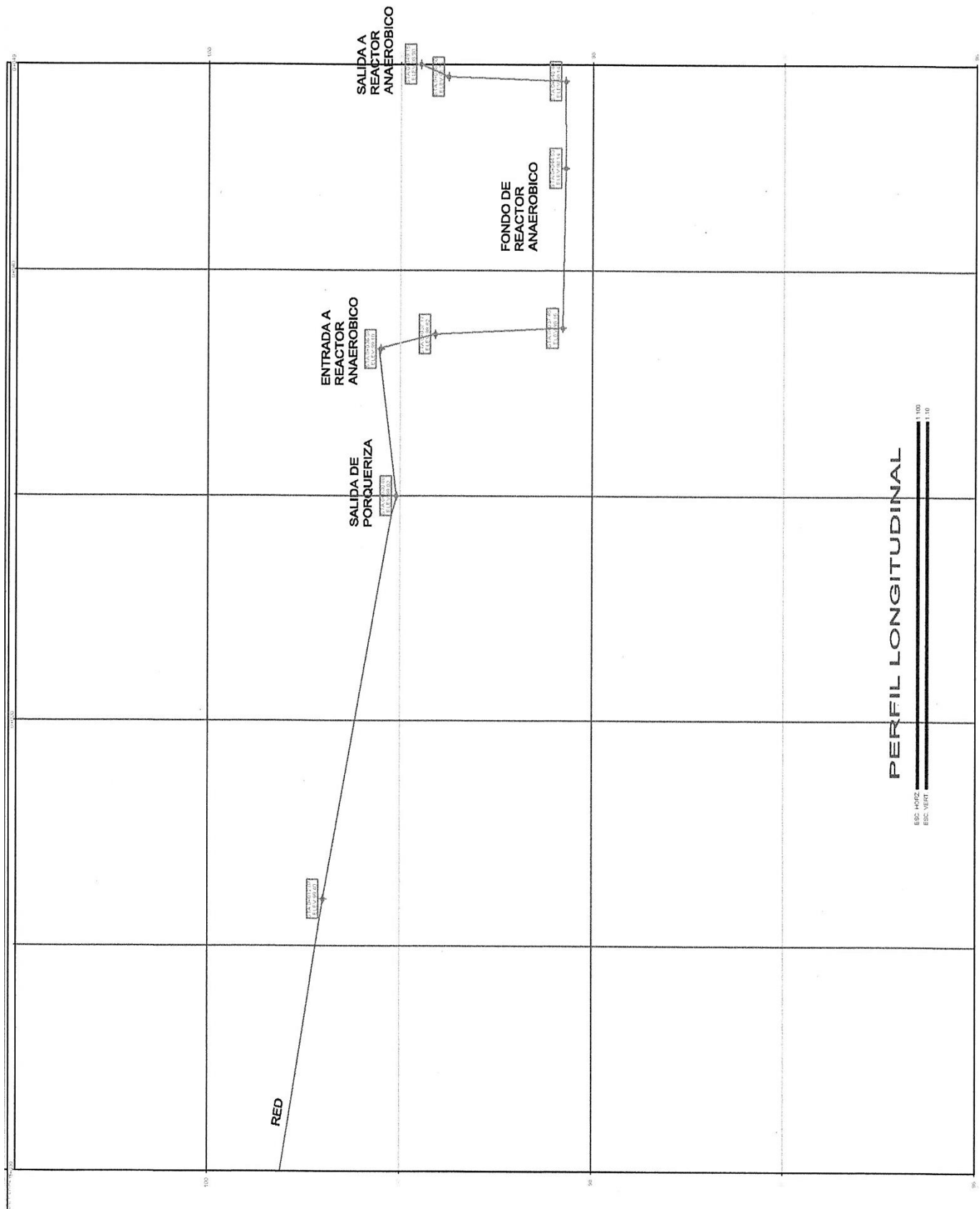
Vázquez E., Martínez P., Fernández G., Méndez R. y Magaña A. (1996). Evaluación de un reactor anaerobio para el tratamiento de aguas residuales de granjas porcícolas. AIDIS. Consolidación para el desarrollo. México, D.F. 1-56 pp.

Winkler, M.A. (2008). Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa S.A Mexico D.F. 338p.

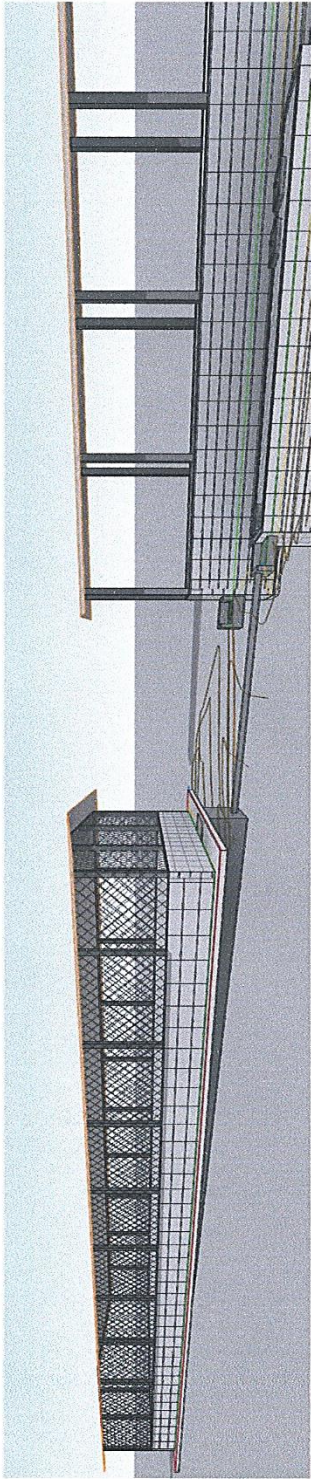
## IX. ANEXOS

Anexo 1.- Planos topográficos, arquitectónico y perfiles hidráulicos del STAR encontrado






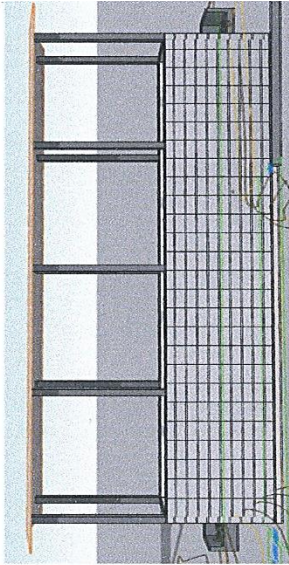




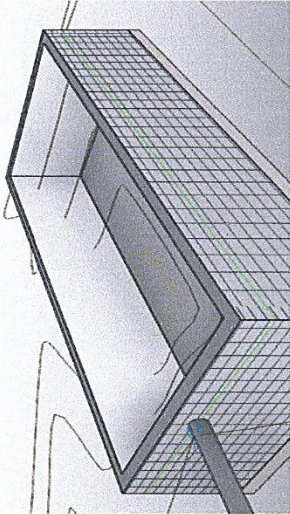
1 Perspectiva de Corrales




2 Perspectiva 3D



3 Perspectiva 3D de Reactor Anaerobico



6 Perspectiva 3D de Bifloro

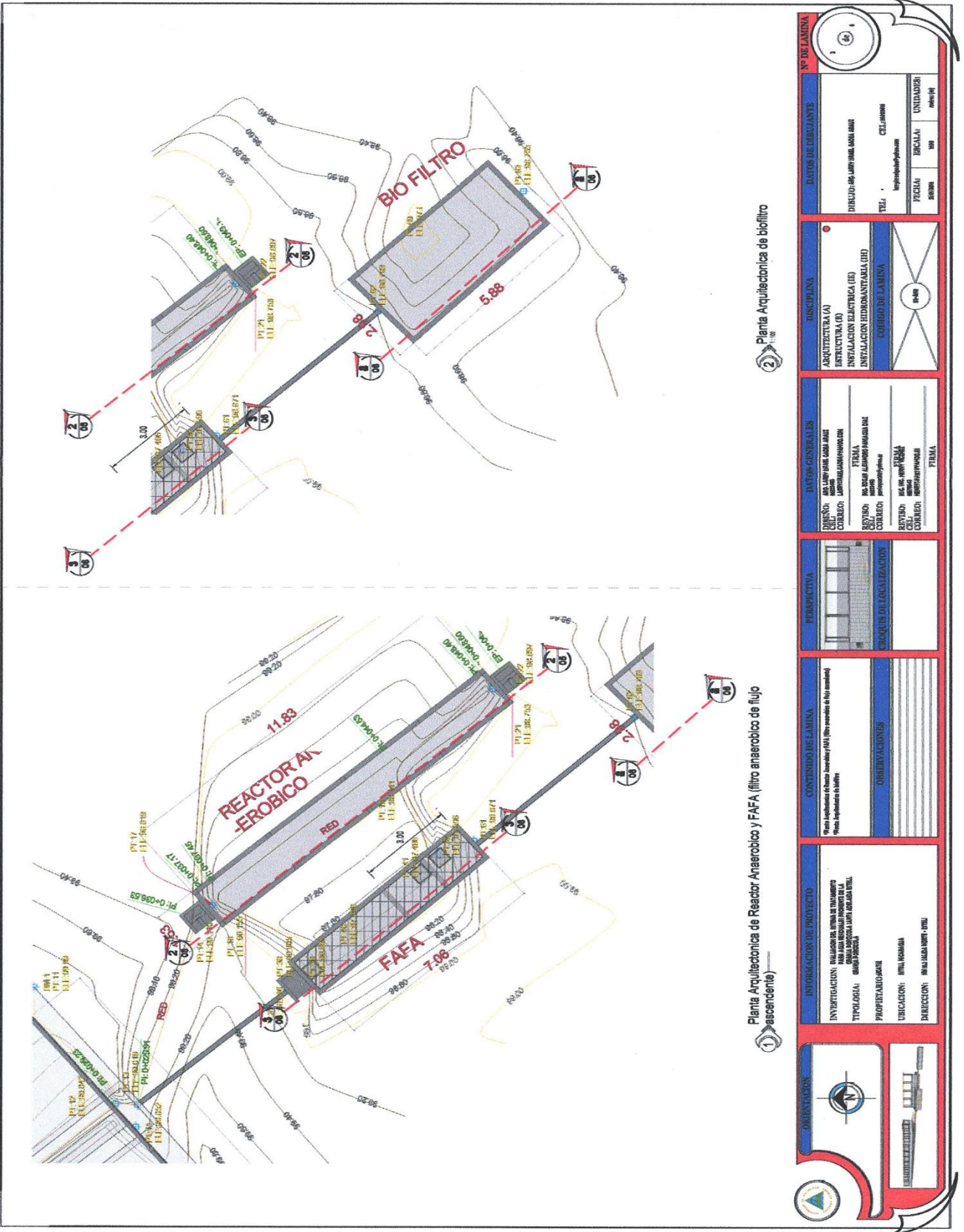


INFORMACION DE PROYECTO		CONTENIDO DE LA LAMINA		PERSPECTIVA		DATOS GENERALES		DISCIPLINA		DATOS DE DISEÑANTE		Nº DE LAMINA	
INVESTIGACION:	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS DE FILTRO ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE Y REACTOR ANAEROBICO.	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D
TIPOLÓGICA:	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS DE FILTRO ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE Y REACTOR ANAEROBICO.	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D
PROYECTAR/REVISAR:	PROYECTAR/REVISAR	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D
UBICACION:	UBICACION	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D
DIRECCION:	DIRECCION	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D	Proyecto de la Corrales	Perspectiva 3D





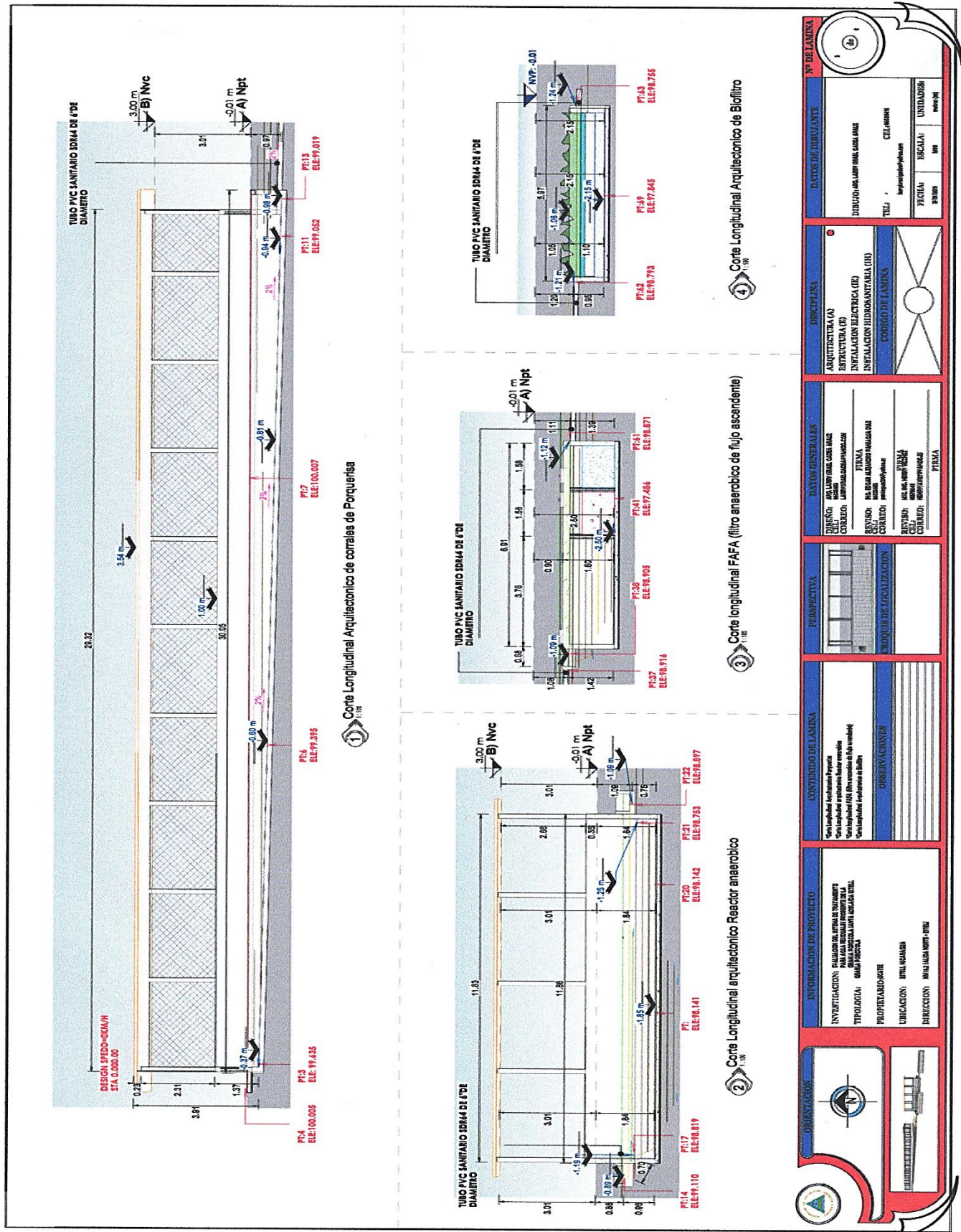




2) Planta Arquitectónica de biofiltro

	<b>INFORMACIÓN DE PROYECTO</b> INVESTIGACIÓN: <b>DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b> TITULACIÓN: <b>GRADO EN INGENIERÍA CIVIL</b> PROPIETARIO: <b>UNIVERSIDAD DE LA PAZ</b> UBICACIÓN: <b>AV. SAN CARLOS DE MIRAFLORES</b> DIRECCIÓN: <b>AV. SAN CARLOS DE MIRAFLORES - 06000</b>	<b>CONTENIDO DE LÁMINA</b> 1. Vista isométrica del reactor anaerobio y FAFA (filtro anaerobio de flujo ascendente) 2. Vista arquitectónica del biofiltro	<b>PROSPECTIVA</b> 	<b>DATOS GENERALES</b> DISEÑO: <b>AV. SAN CARLOS DE MIRAFLORES</b> CUBIERTO: <b>NO</b> MATERIAL: <b>ACERO</b> TIPO: <b>REACTOR</b> CORTE: <b>SECCIÓN TRANSVERSAL</b> OBSERVACIONES: <b>VER VER</b>	<b>DISCIPLINA</b> ARQUITECTURA (A) INGENIERÍA (I) INGENIERÍA HIDRÁULICA (IH) INGENIERÍA HIDROLOGÍA (IH)	<b>DATOS DE DIBUJANTE</b> DIBUJANTE: <b>AV. SAN CARLOS DE MIRAFLORES</b> TÍTULO: <b>CEL. 000000</b> PÉDULA: <b>000000</b> ESCALA: <b>1:100</b> UNIDAD: <b>metros (m)</b>	<b>Nº DE LÁMINA</b> 
--	--	--	------------------------	--	---	---	-------------------------

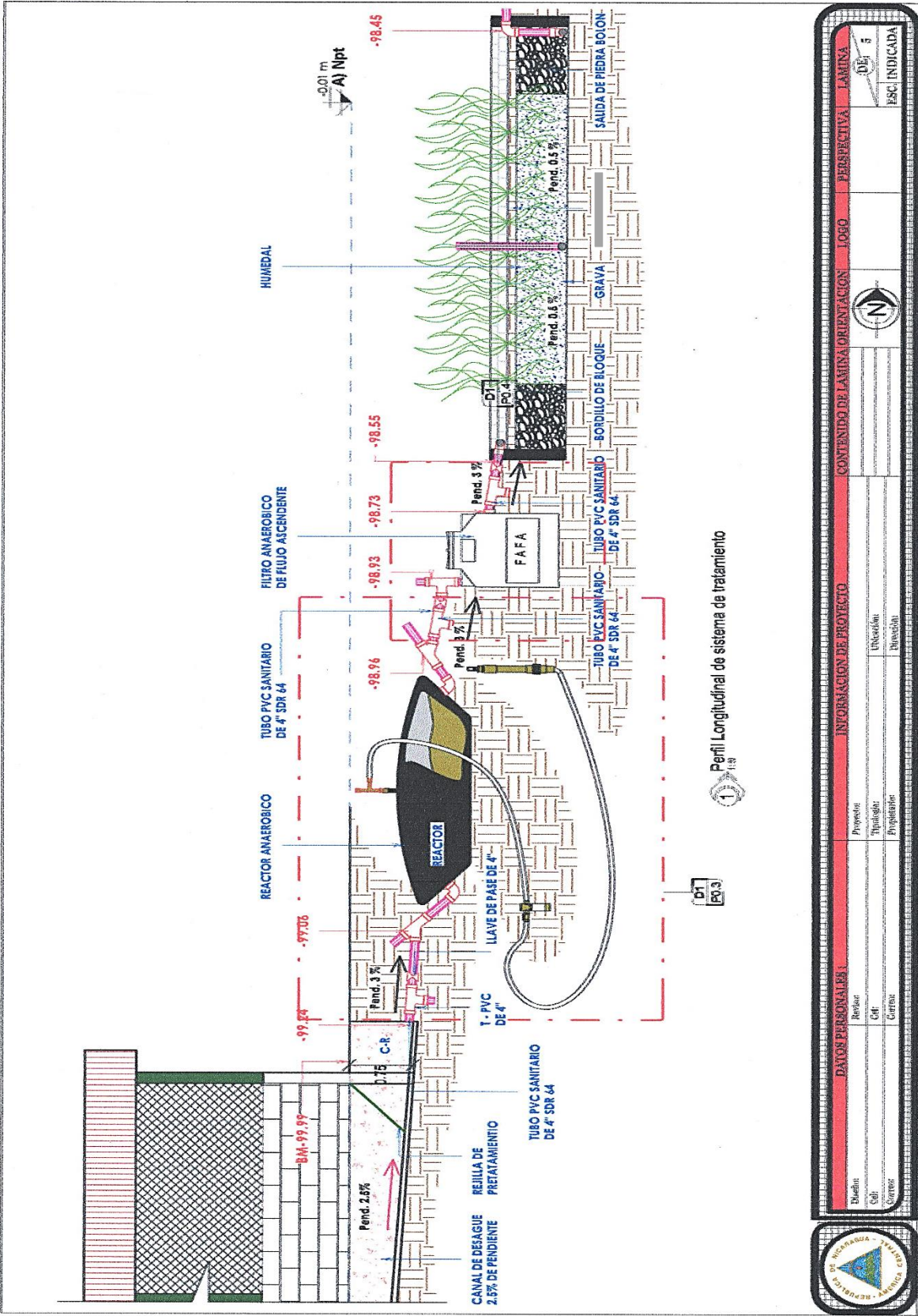




ORIENTACION		INFORMACION DE PROYECTO		CONTENIDO DE LAMINA		PERSPECTIVA		DATOS GENERALES		DISCIPLINA		DATOS DE DIBUJANTE		Nº DE LAMINA	
		<b>INVESTIGACION:</b> RELACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS RESIDUOS DOMESTICOS DE LA COMUNIDAD LOCAL Y EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL. <b>TITULO:</b> MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA DE LA COMUNIDAD LOCAL Y EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA DE LA COMUNIDAD LOCAL.	<b>PROPIETARIO:</b> MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE RIOSA <b>UBICACION:</b> MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE RIOSA <b>DIRECCION:</b> MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE RIOSA	<b>CONTENIDO DE LAMINA:</b>		<b>DISEÑO:</b> MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICO DE LA COMUNIDAD LOCAL Y EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICO DE LA COMUNIDAD LOCAL. <b>REVISOR:</b> MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICO DE LA COMUNIDAD LOCAL Y EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICO DE LA COMUNIDAD LOCAL. <b>REVISOR:</b> MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICO DE LA COMUNIDAD LOCAL Y EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICO DE LA COMUNIDAD LOCAL.	<b>DISCIPLINA:</b>	<b>DATOS GENERALES:</b>	<b>DISCIPLINA:</b>	<b>DATOS DE DIBUJANTE:</b>	<b>Nº DE LAMINA:</b>	<b>DATOS DE DIBUJANTE:</b>	<b>Nº DE LAMINA:</b>	<b>DATOS DE DIBUJANTE:</b>	<b>Nº DE LAMINA:</b>

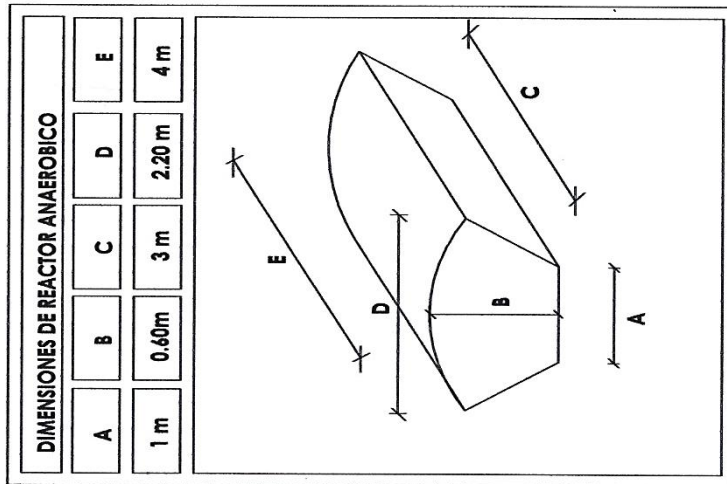


Anexo 2.- Planos arquitectónicos y perfiles hidráulicos del STAR construido





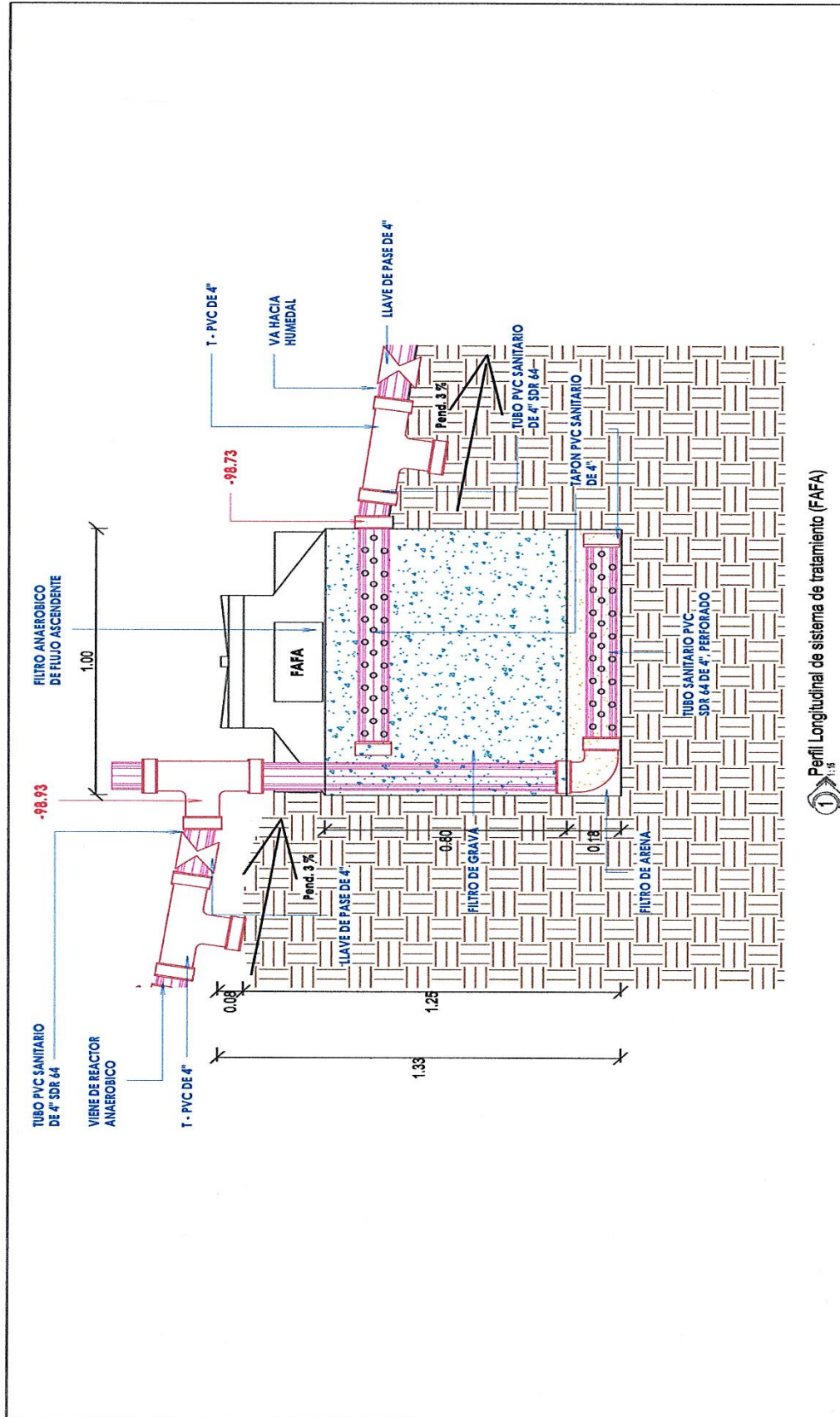




**Cuadro de Dimensiones**  
1:40

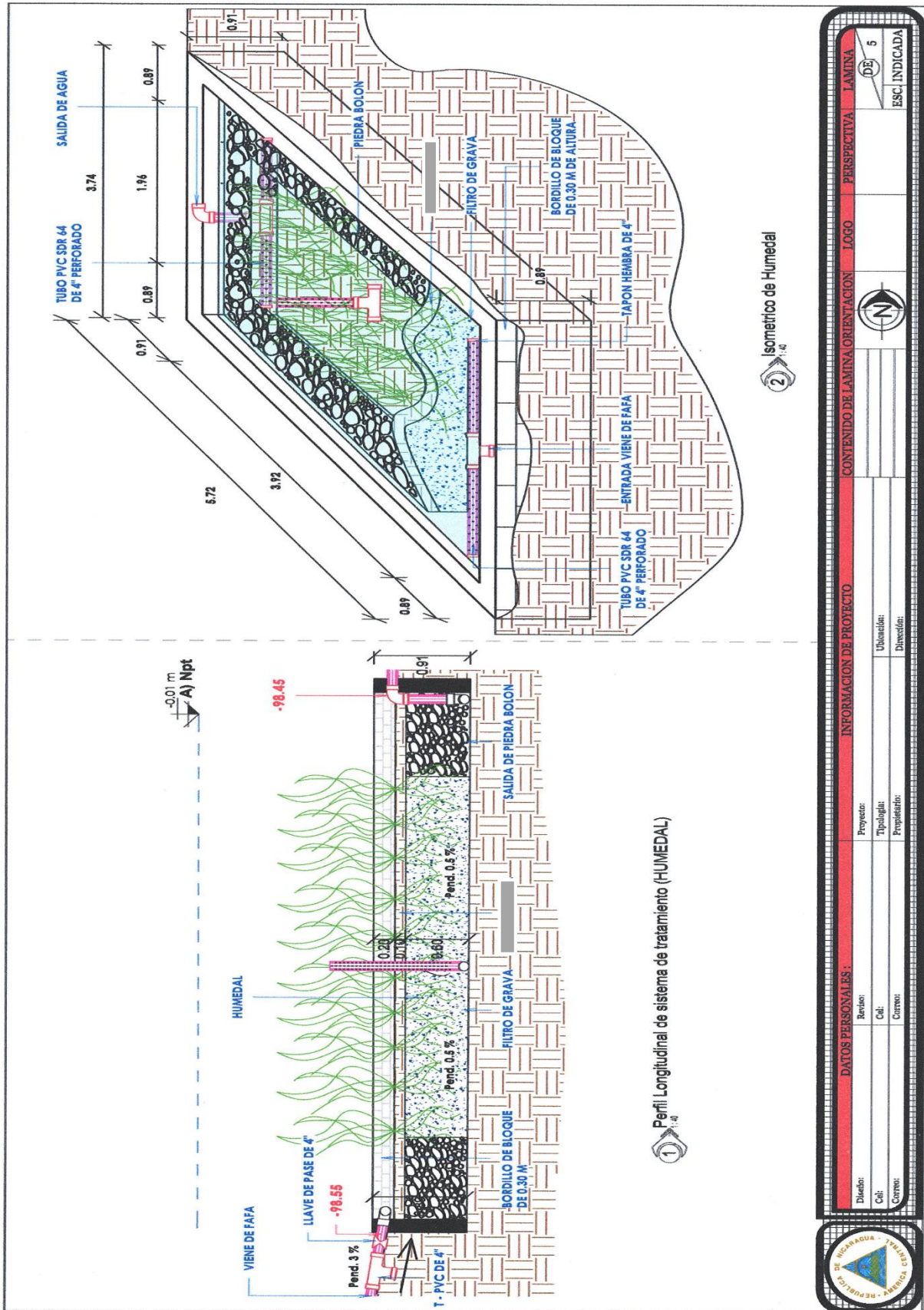
**Perfil Longitudinal de sistema de tratamiento (REACTOR ANAEROBICO)**

87



DATOS PERSONALES :				INFORMACION DE PROYECTO				CONTENIDO DE LAMINA ORIENTACION				PERSPECTIVA	LAMINA	
Diseño:	Revisión:	Proyecto:	Tipología:	Ubicación:										DE 5
Cel:														
Correo:														





**DATOS PERSONALES:**

Diseño:	Revisión:	Proyecto:
Cel:	Cel:	Tipología:
Correo:	Correo:	Propietario:
		Dirección:

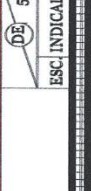
**INFORMACION DE PROYECTO**

Ubicación:	Contenido de Lamina:
Dirección:	Orientación:

**LOGO**



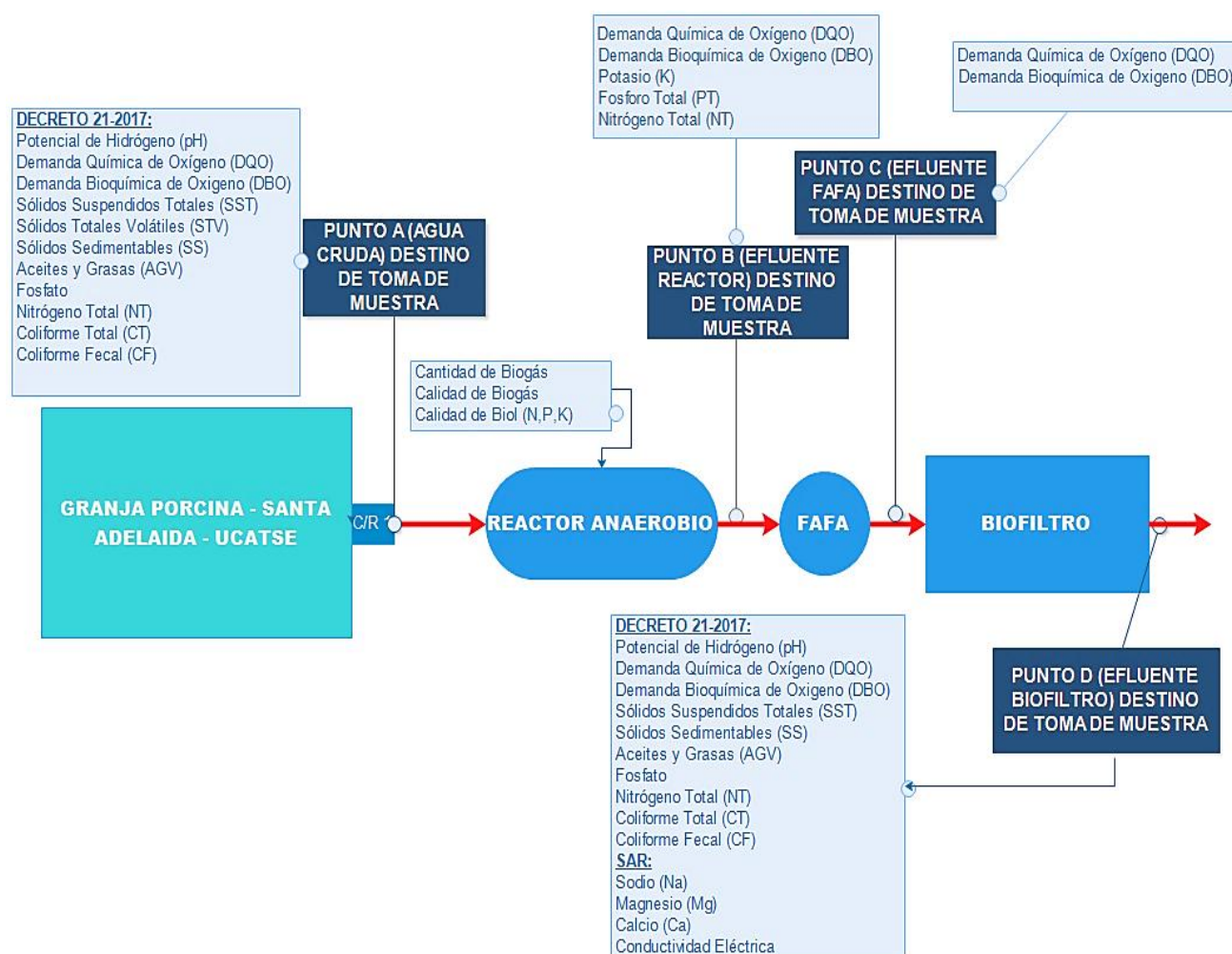
**PERSPECTIVA**



**LAMINA**

DE 5 ESC. INDICADA

### Anexo 3.- Parámetros analizados para cada unidad hidráulica del tren de tratamiento construido





Anexo 4.- Resultados de análisis de laboratorio de agua residual del tren de tratamiento construido

ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	PUNTO A				PUNTO B				PUNTO C				PUNTO D				EFICIENCIA EN LA REMOCION (%)	RANGO O VALOR MAXIMO PERMISIBLE Art. No 64 - 21/2017
		EFLUENTE GRANJA PORCINA - (AGUA CRUDA)				EFLUENTE REACTOR ANAEROBIO				EFLUENTE FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE				EFLUENTE HUMEDAL					
		VALOR DE CONCENTRACION				VALOR DE CONCENTRACION				VALOR DE CONCENTRACION				VALOR DE CONCENTRACION					
		I	II	III	PROMEDIO	I	II	III	PROMEDIO	I	II	III	PROMEDIO	I	II	III	PROMEDIO		
		MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO		MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO		MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO		MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO			
Potencial Hidrógeno	pH	6.63	6.61	6.56	6.60	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	7.42	7.55	7.71	7.56		6-9
Demanda Quimica de Oxigeno	mg/l	25,337.95	77,803.74	98,445.23	67,195.64	10,509.53	2,784.30	11,802.12	8,365.32	378.51	451.76	1,173.14	667.80	309.19	180.39	412.72	300.77	99.55	350.00
Demanda Bioquimica de Oxigeno	mg/l	8,000.00	10,500.00	28,800.00	15,766.67	4,560.00	1,600.00	2,416.66	2,858.89	160.00	145.00	225.00	176.67	140.00	30.00	112.00	94.00	99.40	200.00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	30,250.00	35,700.00	32,333.33	32,761.11	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	43.00	15.00	104.00	54.00	99.84	150.00
Sólidos Totales Volátiles	mg/l	44,580.00	31,300.00	57,270.00	44,383.33	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	NE
Sólidos Sedimentables	ml/l	400.00	600.00	700.00	566.67	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	3.00	0.10	2.00	1.70	99.70	1.00
Aceites y Grasas	mg/l	2.60	22.70	31.10	18.80	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	1.00	4.10	8.20	4.43	76.42	10.00
Fosfato	mg/l	109.09	147.03	232.64	162.92	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	9.15	9.18	16.30	11.54	92.91	20.00
Nitrógeno Total	mg/l	1,568.00	1,400.00	1,120.00	1,362.67	826.22	560.00	672.00	686.07	N/R	N/R	N/R	N/R	93.30	81.29	89.35	87.98	93.54	50.00
Potasio	mg/l	N/R	N/R	N/R	N/R	118.80	303.00	349.20	257.00	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	NE
Fósforo Total	mg/l	N/R	N/R	N/R	N/R	75.95	57.68	86.59	73.41	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	NE
Conductividad	mS/cm	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	3.07	2.30	3.84	3.07	N/R	NE
Calcio	mg/l	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	86.57	100.03	94.26	93.62	N/R	NE
Magnesio	mg/l	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	67.07	208.20	96.51	123.93	N/R	NE
Sodio	mg/l	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	90.00	408.00	141.00	213.00	N/R	NE
Coliformes Total	NMP/100 ml	5.40E+08	N/R	N/R	5.40E+08	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	9.20E+06	N/R	N/R	9.20E+06	98.30	NE
Coliformes Fecal	NMP/100 ml	1.10E+08	N/R	N/R	1.10E+08	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	2.20E+06	N/R	N/R	2.20E+06	98.00	NE
N/R : No realizado, NE: No específica.																			

N/R : No realizado, NE: No especifica.

**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1803-016

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b>		<b>DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento</b>		<b>TELÉFONO</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Asogonor 120 vrs al Norte, Estelí		NR
<b>ATENCIÓN:</b>		<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>	<b>CÉLULAR</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8622-8416
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>				
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>
27/02/2018	28/02/2018	13/03/2018	13/03/2018	3086
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>		27/02/2018 : 8:21 AM		
<b>Muestreado por</b>		Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>		NR		
<b>Fuente</b>		Punto A		
<b>Tipo de Muestra</b>		Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>		Granja Santa Adelayda Km 18.5 Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>		NR		
<b>Codificación PIENSA</b>		LA-1802-0141		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>	<b>Art. No. *64</b>
			<b>PUNTO DE MUESTREO 1</b>	
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	6.63	6 - 9
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	25,337.95	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	8,000.00	200
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	30,250.00	150
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/l	44,580.00	NE
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	400.00	1
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	2.60	10
4500-C	Fosfato	mg/l	109.09	20
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	1,568.00	50

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. ≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

PhD. Leandro Páramo Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000211

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1804-021

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b>		<b>DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento</b>		<b>TELÉFONO</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Asoganor 120 vrs al Norte, Estelí		NR
<b>ATENCIÓN:</b>	<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>		<b>Célular</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz	Estudiante	paniagua216@yahoo.es		8632-5685
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>			<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>		<b>NUMERO DE MUESTRAS</b>
16/03/2018	19/03/2018	05/04/2018	05/04/2018	3108
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>			16/03/2018 ; 8:17 AM	
<b>Muestreado por</b>			Edgar Alejandro Paniagua Díaz	
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>			NR	
<b>Fuente</b>			Punto A	
<b>Tipo de Muestra</b>			Agua Residual Puntual	
<b>Observaciones de Ubicación</b>			Granja Santa Adelaya Ctra. Panamericana Norte, Estelí	
<b>Coordenadas</b>			NR	
<b>Codificación PIENSA</b>			LA-1802-0203	
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>	<b>PUNTO DE MUESTREO 1</b>
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	6.61	6 - 9
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	77,803.74	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	10,500.00	200
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	35,700.00	150
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/l	31,300.00	NE
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	600.00	1
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	22.70	10
4500-C	Fosfato	mg/l	147.03	20
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	1,400.00	50

Rango o valor máximo permisible

Art. No. \*64

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Limite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

**COORDINACIÓN**  
Ph.D. Leandro Páramo Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000264

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni



**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1804-025

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz			<b>DIRECCIÓN:</b> Calle, Municipio; Comunidad; Departamento Asogonor 120 vrs al Norte, Estelí		<b>TELÉFONO</b> NR
<b>ATENCIÓN:</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz			<b>CARGO</b> Estudiante	<b>EMAIL</b> paniagua216@yahoo.es	<b>CÉLULAR</b> 8632-5685
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>					
<b>INGRESO:</b> 06/04/2018	<b>INICIO DE ANALISIS:</b> 09/04/2018	<b>FINAL DE ANALISIS:</b> 17/04/2018	<b>FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b> 24/04/2018	<b>CADENA DE CUSTODIA</b> 3123	<b>NÚMERO DE MUESTRAS</b> Cuatro (4)
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b> 06/04/2018 ; 9:28 AM			<b>Rango o valor máximo permisible</b>		
<b>Muestreado por</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz					
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b> NR					
<b>Fuente</b> Punto A					
<b>Tipo de Muestra</b> Agua Residual Puntual					
<b>Observaciones de Ubicación</b> Granja Santa Adelaida Km 18.5 Ctra. Panamericana Norte, Estelí			<b>Art. No. *64</b>		
<b>Coordenadas</b> NR					
<b>Codificación PIENSA</b> LA-1804-0243					
<b>VALOR DE CONCENTRACIÓN</b> PUNTO DE MUESTREO 1					
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>			
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	6.66	6 - 9	
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	98,445.23	350	
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	28,800.00	200	
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	32,333.33	150	
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/l	57,270.00	NE	
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	700.0	1	
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	31.1	10	
4500-C	Fosfato	mg/l	232.64	20	
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	1,120.00	50	

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

  
MSc. Eida Escobar Valdivia  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000332

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: [piensa@uni.edu.ni](mailto:piensa@uni.edu.ni) • Web: [www.piensa.uni.edu.ni](http://www.piensa.uni.edu.ni)

LABORATORIO AMBIENTAL

**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1803-016

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz		<b>DIRECCIÓN:</b> Calle, Municipio; Comunidad; Departamento Asogonor 120 vrs al Norte, Estelí		<b>TELEFONO</b> NR	
<b>ATENCIÓN:</b>		<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>	<b>Célular</b>	
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8622-8416	
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>					
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>	<b>NUMERO DE MUESTRAS</b>
27/02/2018	28/02/2018	13/03/2018	13/03/2018	3086	Cuatro (4)
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>			27/02/2018 ; 8:30 AM		
<b>Muestreado por</b>			Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>			NR		
<b>Fuente</b>			Punto B		
<b>Tipo de Muestra</b>			Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>			Granja Santa Adelayda Km 18.5 Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>			NR		
<b>Codificación PIENSA</b>			LA-1802-0142		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>		<b>Rango o valor máximo permisible</b>
			<b>PUNTO DE MUESTREO 2</b>		<b>Art. No. *64</b>
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	10,509.53		350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	4,560.00		200
3500-C	Potasio	mg/l	118.80		10
4500-C	Fosforo Total	mg/l	75.95		NE
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	826.22		50

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.  
≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los resultados reportados por el cliente

  
PhD. Leandro Parra Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000212

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni





LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AR1804-021

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELÉFONO	
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Asogénor 120 vrs al Norte, Esteli		NR	
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL		Cóctulor
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es		8632-5685
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:		INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
16/03/2018		19/03/2018	05/04/2018	05/04/2018	3108
Fecha y Hora de Muestreo		16/03/2018 : 8:23 AM			
Muestreado por		Edgar Alejandro Paniagua Díaz			
Supervisor de Muestreo en Campo		NR			
Fuente		Punto B			
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual			
Observaciones de Ubicación		Granja Santa Adelaida Ctra. Panamericana Norte, Esteli			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1802-0204			
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. *64
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	2,784.30		350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	1,600.00		200
3500-C	Potasio	mg/l	393.00		10
4500-C	Fosforo Total	mg/l	57.68		NE
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	560.00		50

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva, s al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.  
PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.  
\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

PhD. Leonardo Parrao Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000726

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.pienso.uni.edu.ni

LABORATORIO AMBIENTAL

**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1804-021

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b>		<b>DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento</b>		<b>TELÉFONO</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Asogador 120 vrs al Norte, Estelí		NR
<b>ATENCIÓN:</b>	<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>	<b>CÉLULAR</b>	
Edgar Alejandro Paniagua Díaz	Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8632-5685	
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>				
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>
06/04/2018	09/04/2018	17/04/2018	24/04/2018	3123
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>		06/04/2018 ; 9:35 AM		
<b>Muestreado por</b>		Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>		NR		
<b>Fuente</b>		Punto B		
<b>Tipo de Muestra</b>		Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>		Granja Santa Adelaida Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>		NR		
<b>Codificación PIENSA</b>		LA-1804-0244		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>	<b>PUNTO DE MUESTREO 2</b>
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	11,802.12	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	2,416.66	200
3500-C	Potasio	mg/l	349.2	10
4500-C	Fosforo Total	mg/l	86.59	NE
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	672.00	50

Rango o valor máximo permisible

Art. No. \*84

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

s al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

MSc. Elna Escobar Valdivia  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000333

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.pienso.uni.edu.ni



**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

**LA-AR1803-016**

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz		<b>DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento</b> Asoganor 120 vrs al Norte, Estelí		<b>TELEFONO</b> NR
<b>ATENCIÓN:</b>		<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>	<b>Celular</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8622-8416
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>				
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>
27/02/2018	28/02/2018	13/03/2018	13/03/2018	3086
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>		27/02/2018 ; 8:35 AM		
<b>Muestreado por</b>		Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>		NR		
<b>Fuente</b>		Punto C		
<b>Tipo de Muestra</b>		Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>		Granja Santa Adelaida Km 18.5 Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>		NR		
<b>Codificación PIENSA</b>		LA-1802-0143		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>	<b>PUNTO DE MUESTREO 3</b>
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	378.51	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	160.00	200

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. ≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

**COORDINACIÓN**  
Ph.D. Leandro Páramo  
Coordinador Técnico Laboratorio Ambiental PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000213

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517  
5947-8922 (C) y 8459-7344 (M); Coordinación de Laboratorio 8400-0404 (M) • Correo Electrónico: quimica@uni.edu.ni



LABORATORIO AMBIENTAL

**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1804-021

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz		<b>DIRECCIÓN:</b> Calle, Municipio; Comunidad; Departamento Asoganor 120 vrs al Norte, Estelí		<b>TELEFONO</b> NR
<b>ATENCIÓN:</b>		<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>	<b>Célular</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8632-5685
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>				
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>
16/03/2018	19/03/2018	05/04/2018	05/04/2018	3108
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>		16/03/2018 ; 8:36 AM		
<b>Muestreado por</b>		Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>		NR		
<b>Fuente</b>		Punto C		
<b>Tipo de Muestra</b>		Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>		Granja Santa Adelaida Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>		NR		
<b>Codificación PIENSA</b>		LA-1802-0205		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>	<b>PUNTO DE MUESTREO 3</b>
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	451.76	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	145.00	200

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

PhD. Leandro Roldán Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000266

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AR1804-021

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio, Comunidad, Departamento		TELÉFONO
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Asoganor 120 vrs al Norte, Estelí		NR
ATENCIÓN:	CARGO	EMAIL	Célular	
Edgar Alejandro Paniagua Díaz	Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8632-5885	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANÁLISIS	CADERA DE CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANÁLISIS:	FINAL DE ANÁLISIS:	24/04/2018	3123
06/04/2018	08/04/2018	17/04/2018		Cuatro (4)
Fecha y Hora de Muestreo		06/04/2018 : 9:42 AM		
Muestreado por		Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		Punto C		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		Granja Santa Adelaida Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1804-0245		
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *54
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	1,173.14	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	226.00	200

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.  
s al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.  
PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.  
\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

  
MSc. Eida Escobar Valdivia  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales  


Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000334

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517  
5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: [piensa@uni.edu.ni](mailto:piensa@uni.edu.ni) • Web: [www.piensa.uni.edu.ni](http://www.piensa.uni.edu.ni)



**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

**LA-AR1803-016**

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b>			<b>DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento</b>		<b>TELEFONO</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz			Asogonor 120 vrs al Norte, Estelí		NR
<b>ATENCIÓN:</b>		<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>		<b>Célular</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es		8622-8416
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>					
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>	<b>NUMERO DE MUESTRAS</b>
27/02/2018	28/02/2018	13/03/2018	13/03/2018	3086	Cuatro (4)
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>			27/02/2018 ; 8:40 AM		
<b>Muestreado por</b>			Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>			NR		
<b>Fuente</b>			Punto D		
<b>Tipo de Muestra</b>			Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>			Granja Santa Adelayda Km 18.5 Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>			NR		
<b>Codificación PIENSA</b>			LA-1802-0144		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>		<b>Art. No. *64</b>
			<b>PUNTO DE MUESTREO 4</b>		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.42		6 - 9
2510-B	Conductividad	mS/cm	3.07		NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	309.19		350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	140.00		200
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	43.00		150
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	3.0		1
3500-D	Calcio	mg/l	86.57		NE
3500-E	Magnesio	mg/l	67.068		NE
3500-X	Sodio	mg/l	90.00		NE
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	1.0		10
4500-C	Fosfato	mg/l	9.149		20
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	93.30		50

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.   
s al Límite de Detección que se especifica por parámetro **NE=** No especificada en la Norma **NR=** No Reporta.

**PTAR =** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. **SM=** Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

**\*Decreto N° 21-2017** EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

**LABORATORIOS AMBIENTALES**  
COORDINACIÓN TÉCNICA  
PhD. Leandro Paragón Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

0000228

Telefax Dirección (505) 2270-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8856-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: [piensa@uni.edu.ni](mailto:piensa@uni.edu.ni) • Web: [www.piensa.uni.edu.ni](http://www.piensa.uni.edu.ni)

LABORATORIO AMBIENTAL

**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1804-021

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz		<b>DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento</b> Asoganor 120 vrs al Norte, Estelí		<b>TELÉFONO</b> NR
<b>ATENCIÓN:</b>		<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>	<b>Célular</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8632-5685
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>				
<b>INGRESO:</b>	<b>INICIO DE ANALISIS:</b>	<b>FINAL DE ANALISIS:</b>	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b>	<b>CADENA DE CUSTODIA</b>
16/03/2018	19/03/2018	05/04/2018	05/04/2018	3108
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>		16/03/2018 ; 8:40 AM		
<b>Muestreado por</b>		Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>		NR		
<b>Fuente</b>		Punto D		
<b>Tipo de Muestra</b>		Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>		Granja Santa Adelaida Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>		NR		
<b>Codificación PIENSA</b>		LA-1802-0206		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>	<b>Art. No. *64</b>
			<b>PUNTO DE MUESTREO 4</b>	
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.55	6 - 9
2510-B	Conductividad	mS/cm	2.30	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	180.39	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	30.00	200
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	15.00	150
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	<0.1	1
3500-D	Calcio	mg/l	100.03	NE
3500-E	Magnesio	mg/l	208.20	NE
3500-X	Sodio	mg/l	408.00	NE
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	4.1	10
4500-C	Fosfato	mg/l	9.177	20
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	81.29	50

Rango o valor máximo permisible

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los datos suministrados por el cliente

COORDINACIÓN  
PhD. Leandro Paramo Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

0000267

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.pienso.uni.edu.ni



**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

LA-AR1804-021

<b>EMPRESA / PROYECTO / PERSONA</b> Edgar Alejandro Paniagua Díaz		<b>DIRECCIÓN:</b> Calle, Municipio; Comunidad; Departamento Asogonor 120 vrs al Norte, Estelí		<b>TELÉFONO</b> NR
<b>ATENCIÓN:</b>		<b>CARGO</b>	<b>EMAIL</b>	<b>CÉSTULAR</b>
Edgar Alejandro Paniagua Díaz		Estudiante	paniagua216@yahoo.es	8632-5685
<b>FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO</b>				
<b>INGRESO:</b> 06/04/2018	<b>INICIO DE ANALISIS:</b> 09/04/2018	<b>FINAL DE ANALISIS:</b> 17/04/2018	<b>FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS</b> 24/04/2018	<b>CADENA DE CUSTODIA</b> 3123
				<b>NUMERO DE MUESTRAS</b> Cuatro (4)
<b>Fecha y Hora de Muestreo</b>		06/04/2018 ; 9:49 AM		
<b>Muestreado por</b>		Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
<b>Supervisor de Muestreo en Campo</b>		NR		
<b>Punto</b>		Punto D		
<b>Tipo de Muestra</b>		Agua Residual Puntual		
<b>Observaciones de Ubicación</b>		Granja Santa Adelaida Ctra. Panamericana Norte, Estelí		
<b>Coordenadas</b>		NR		
<b>Codificación PIENSA</b>		LA-1804-0246		
<b>METODO SM // EPA</b>	<b>ENSAYO REALIZADO PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>VALOR DE CONCENTRACION</b>	<b>Art. No. *64</b>
			<b>PUNTO DE MUESTREO 4</b>	
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.71	6 - 9
2510-B	Conductividad	mS/cm	3.84	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	412.72	350
5510-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	112.00	200
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	104.00	150
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/l	2.0	1
3500-D	Calcio	mg/l	94.26	NE
3500-E	Magnesio	mg/l	96.51	NE
3500-X	Sodio	mg/l	141.0	NE
5520-B	Aceites y Grasas	mg/l	8.2	10
4500-C	Fosfato	mg/l	16.303	20
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	89.35	50

**LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS:** Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.

PTAR = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. SM= Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005.

\*Decreto N° 21-2017 EPA = Environmental Protection Agency

**OBSERVACIONES:** La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

MSc. Eida Escobar Valdivia  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales



Declaramos que este Informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000337

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.unl.edu.ni

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1802-0026-1

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELÉFONO
Edgar Alejandro Paniagua Díaz			Asogonor, 120vrs al Norte, Estelí		NR
ATENCIÓN:			CARGO:	EMAIL:	CELULAR
Edgar Alejandro Paniagua Díaz			Estudiante	paniagua216@yahoo.es	86325685
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:			NUMERO DE MUESTRAS
27/02/2018	27/02/2018	03/03/2018		12/03/2018	3086
Fecha y Hora de Muestreo			27/02/2018 8:21am		
Supervisor y muestreo de campo			Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
Muestreado por			Edgar Alejandro Paniagua Díaz		
Fuente			Punto A		
Tipo de muestra			Agua Residual Puntual		
Coordenadas			NR		
Observaciones de Ubicación			Granja Santa Adelaida Km 18.5 Carretera Panamericana Norte, Estelí		
Codificación PIENSA			LA-1802-0141		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 1		Rango o valor máximo permisible
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	5.4*10 <sup>8</sup>		Arto. 64*
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	1.1*10 <sup>8</sup>		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta, P-A:Presencia-Ausencia, NE: No Especifica en la Norma.

Método Internacional Empleado: SM : Standard Methodos, 21st. 2005

\*Decreto No. 21-2017: Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente



0000215

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: [piensa@uni.edu.ni](mailto:piensa@uni.edu.ni) • Web: [www.piensa.uni.edu.ni](http://www.piensa.uni.edu.ni)



LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1802-0026-2

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELÉFONO
Edgar Alejandro Paniagua Díaz			Asoganor, 120vrs al Norte, Estelí		NR
ATENCIÓN:			CARGO:	EMAIL:	CELULAR
Edgar Alejandro Paniagua Díaz			Estudiante	<a href="mailto:paniagua216@yahoo.es">paniagua216@yahoo.es</a>	86325685
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:			NUMERO DE MUESTRAS
27/02/2018	27/02/2018	03/03/2018		12/03/2018	3086
Fecha y Hora de Muestreo				27/02/2018 8:40am	
Supervisor y muestreo de campo				Edgar Alejandro Paniagua Díaz	
Muestreado por				Edgar Alejandro Paniagua Díaz	
Fuente				Punto D	
Tipo de muestra				Agua Residual Puntual	
Coordenadas				NR	
Observaciones de Ubicación				Granja Santa Adelaida Km 18.5 Carretera Panamericana Norte, Estelí	
Codificación PIENSA				LA-1802-0144	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 4		Arto. 64*
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	9.2*10 <sup>8</sup>		NE
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	2.2*10 <sup>6</sup>		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta, P-A: Presencia-Ausencia, NE: No Especifica en la Norma.

Método Internacional Empleado: SM : Standard Methods, 21st. 2005

\*Decreto No. 21-2017: Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente

  
PhD. Leandro Raramo Aguilera  
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio se reserva los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000216

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: [piensa@uni.edu.ni](mailto:piensa@uni.edu.ni) • Web: [www.piensa.uni.edu.ni](http://www.piensa.uni.edu.ni)

Anexo 5.- Resultado de análisis de laboratorio de biogás generado por el reactor anaerobio construido (%CH<sub>4</sub>)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
VICE RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
Programa de Vinculación e Innovación Tecnológica  
LINEA BIOMASA



No. de cotización: 1529

Matriz de muestra: Aguas Residuales (Granja)

Fuente: Biodigestores

Cliente: Estudiante de Maestría

Atención: Ing. Edgard Alejandro Paniagua Díaz

Fecha Recibida: 27/02/18

Fecha de entrega: 28/02/18

Código: 202-1529-02-18

Telf: 27136104

Móvil: 86325685

email: [paniagua216yahoo.es](mailto:paniagua216yahoo.es)

Dirección: Granja Porcina Santa Adelaida,  
Kilómetro 18.5 carretera panamericana norte del  
Municipio de Estelí.

### INFORME DE ENSAYO Y/O ANALISIS

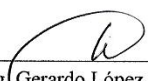
ANALISIS	MUESTRA				
	Unidad	Método	No. 1	No. 2	No. 3
Determinación de Metano "CH <sub>4</sub> "	%	Absorción en NaOH	64.13		

M. N: Métodos normalizados, 20<sup>a</sup> edición. APHA, AWWA, DIN: Métodos normalizados alemanes

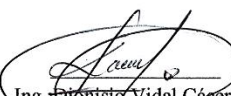
DECLARACION: Este informe refleja el resultado de los parámetros analizados a solicitud del cliente a la(s) muestra(s) tomada(s) por el cliente.

Descripción de las muestras: muestra puntual

Muestra No.1: Biodigestor

  
Ing. Gerardo López Villegas.  
Analista



  
Ing. Biomista Vidal Cáceres A.  
Coordinador del Programa Biomasa

cc. Archivo

Pag. 1/1





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
VICE RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
Programa de Vinculación e Innovación Tecnológica  
LINEA BIOMASA



**No. de cotización:** 1529.1

**Matriz de muestra:** Aguas Residuales (Granja)

**Fuente:** Biodigestores

**Cliente:** Estudiante de Maestría

**Atención:** Ing. Edgard Alejandro Paniagua Díaz

**Fecha Recibida:** 16/03/18

**Fecha de entrega:** 20/03/18

**Código:** 202-1529.1-03-18

**Telf:** 27136104

**Móvil:** 86325685

**email:** [paniagua216@yahoo.es](mailto:paniagua216@yahoo.es)

**Dirección:** Granja Porcina Santa Adelaida,  
Kilómetro 18.5 carretera panamericana norte del  
Municipio de Estelí.

### INFORME DE ENSAYO Y/O ANALISIS

ANALISIS	MUESTRA				
	Unidad	Método	No. 1	No. 2	No. 3
Determinación de Metano "CH <sub>4</sub> "	%	Absorción en NaOH		71.13	

M. N: Métodos normalizados, 20<sup>va</sup> edición. APHA, AWWA, DIN: Métodos normalizados alemanes

DECLARACION: Este informe refleja el resultado de los parámetros analizados a solicitud del cliente a la(s) muestra(s) tomada(s) por el cliente.

Descripción de las muestras: muestra puntual

muestra N° 2: Biodigestor

Ing. Gerardo López Villegas.  
Analista



Ing. Dionisio Vidal Cáceres A.  
Coordinador del Programa Biomasa

cc. Archivo

Pag. 1/1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
VICE RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
Programa de Vinculación e Innovación Tecnológica  
LINEA BIOMASA



**No. de cotización:** 1529.3

**Matriz de muestra:** Aguas Residuales (Granja)

**Fuente:** Biodigestores

**Cliente:** Estudiante de Maestría

**Atención:** Ing. Edgard Alejandro Paniagua Díaz

**Fecha Recibida:** 06/04/18

**Fecha de entrega:** 09/04/18

**Código:** 202-1529.3-04-18

**Telf:** 27136104

**Móvil:** 86325685

**email:** paniagua216@yahoo.es

**Dirección:** Granja Porcina Santa Adelaida,  
Kilómetro 18.5 carretera panamericana norte del  
Municipio de Estelí.

### INFORME DE ENSAYO Y/O ANALISIS

ANALISIS	MUESTRA				
	Unidad	Método	No. 1	No. 2	No. 3
Determinación de Metano "CH <sub>4</sub> "	%	Absorción en NaOH			63.46

M. N: Métodos normalizados, 20<sup>va</sup> edición. APHA, AWWA, DIN: Métodos normalizados alemanes

**DECLARACION:** Este informe refleja el resultado de los parámetros analizados a solicitud del cliente a la(s) muestra(s) tomada(s) por el cliente.

Descripción de las muestras: muestra puntual

Muestra N° 3: Biodigestor N° 3

Ing. Gerardo López Villegas.  
Analista



Ing. Dionisio Vidal Cáceres A.  
Coordinador del Programa Biomasa

cc. Archivo

Pag. 1/1



## Anexo 6.- Fotografías del proceso constructivo y toma de muestras del STAR construido

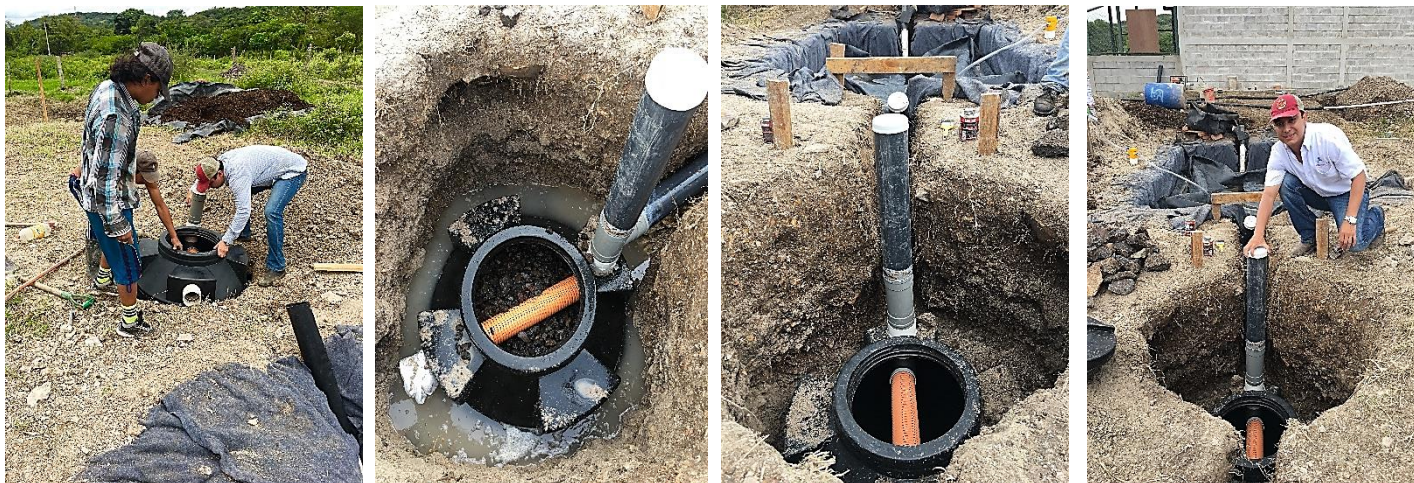
### • Canales de concreto



### • Reactor anaerobio

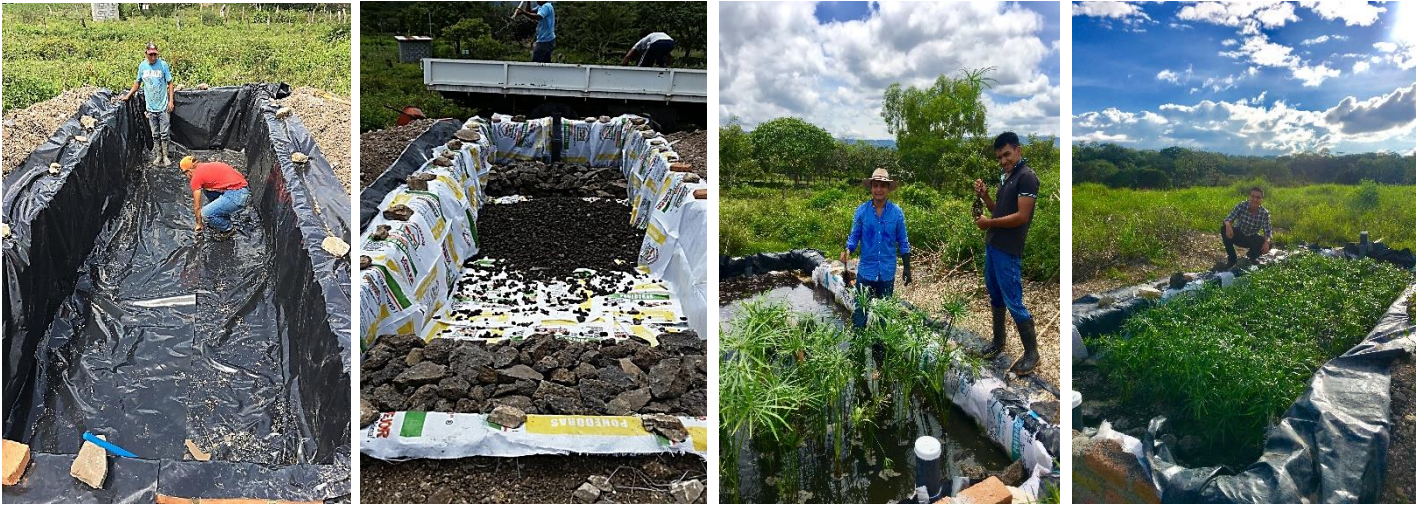


### • FAFA





- Biofiltro



- Generación de biogás



- Toma de muestras de agua residual



## Anexo 7.- Costo de inversión del STAR construido

ITEM	DESCRIPCION	U/M	CANT	PRE/UNIT C\$	SUB TOTAL C\$	SUB TOTAL U\$
<b>A</b>	<b>MATERIALES</b>					
<b>1</b>	<b>Canal de corrales</b>				<b>6,039.00</b>	<b>188.72</b>
1.1	Tubo pvc 4" Ø sdr 64	uni	5.00	202.00	1,010.00	31.56
1.2	Pega pvc gris	1/8	1.00	169.00	169.00	5.28
1.3	Cemento	bls	10.00	280.00	2,800.00	87.50
1.4	Piedra Triturada 1/2"	m3	1.00	480.00	480.00	15.00
1.5	Arena	m3	1.00	500.00	500.00	15.63
1.6	Material selecto	m3	9.00	120.00	1,080.00	33.75
<b>2</b>	<b>Reactor anaerobio</b>				<b>23,379.80</b>	<b>730.62</b>
2.1	Reactor anaerobio	glb	1.00	22,975.80	22,975.80	717.99
2.2	Tubo pvc 4" Ø sdr 64	uni	2.00	202.00	404.00	12.63
<b>3</b>	<b>FAFA</b>				<b>6,624.72</b>	<b>207.02</b>
3.1	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	glb	1.00	6,078.72	6,078.72	189.96
3.4	Piedra Triturada 1/2"	m3	0.55	480.00	264.00	8.25
3.5	Arena	m3	0.16	500.00	80.00	2.50
3.6	Tubo pvc 4" Ø sdr 64	uni	1.00	202.00	202.00	6.31
<b>4</b>	<b>Humedal (Biofiltro)</b>				<b>9,561.30</b>	<b>298.79</b>
4.1	Ladrillo de 0.25x0.6x0.15	uni	257.00	2.90	745.30	23.29
4.2	Arena	m3	1.00	500.00	500.00	15.63
4.3	Cemento	bls	3.00	280.00	840.00	26.25
4.5	Plástico Negro	ml	25.00	38.00	950.00	29.69
4.6	Sacos quintaleros	uni	100.00	6.50	650.00	20.31
4.7	Piedra Bolón	m3	8.50	350.00	2,975.00	92.97
4.8	Piedra triturada 1"	m3	5.00	480.00	2,400.00	75.00
4.9	Codo pvc 90°	uni	1.00	65.00	65.00	2.03
4.9.1	Tubo pvc 4" Ø sdr 64	uni	1.00	202.00	202.00	6.31
4.9.2	"T" lisa pvc 4" Ø	uni	3.00	78.00	234.00	7.31
<b>5</b>	<b>Mano de Obra</b>			<b>6,000.00</b>	<b>6,000.00</b>	<b>187.50</b>
5.1	Mano de Obra Reactor-FAFA-Biofiltro	glb	1.00	6,000.00	6,000.00	187.50
	<b>TOTAL</b>				<b>51,604.82</b>	<b>1,612.65</b>

Tasa de cambio: US \$ 1.00 equivalente a C\$ 32.00